



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: Comparativa de las medidas de emisiones electromagnéticas en las normativas europea y americana para teléfonos duales

AUTOR: Javier Fernández Andrés

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación

TUTOR (o Director en su caso): Florentino Jiménez Muñoz

DEPARTAMENTO: DIAC

VºBº

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: Honesto Díez Robla

VOCAL: Florentino Jiménez Muñoz

SECRETARIO: Rafael Herradón Díez

Fecha de lectura: Enero de 2014

Calificación:

El Secretario,

Agradecimientos

A mis padres, porque me lo han dado
todo y me han brindado la oportunidad
de llegar hasta aquí.

A los amigos que me han ayudado
y apoyado todo este tiempo.

RESUMEN

El objetivo del presente Proyecto Fin de Grado es la realización de una comparativa de los resultados obtenidos en las medidas de SAR (tasa de absorción específica) y potencia utilizando la normativa europea CENELEC (basada en la del IEC) y la americana FCC (basada en la del IEEE) para distintos dispositivos móviles duales. En primer lugar se ha realizado el estudio de sus características de potencia y de SAR, viendo la variación que hay con respecto a las distintas normativas y rangos de frecuencias. En algunos casos, aunque funcionan sin problema alguno en las diferentes bandas, la diferencia de niveles de emisiones obtenidos en las diferentes bandas puede ser notable.

Como se ha comentado al comienzo, se han utilizado diferentes dispositivos duales y se realizaron en ellos las medidas pertinentes utilizando las diferentes normativas y el procedimiento indicado en cada una de ellas. Para observar las diferencias concretas que pudieran existir al utilizar las diferentes normativas, las medidas se han realizado en todas las bandas de funcionamiento del dispositivo y para cada una de ellas se han aplicado las diferentes normativas. Con esto se pretende evaluar si pudiera existir alguna discrepancia en los dispositivos que tienen el certificado de conformidad para una norma concreta cuando se utiliza en otra banda que no es exactamente la banda de utilización de esa norma. En resumen, se quería comprobar que un dispositivo que está certificado con la norma de una región, por ejemplo Europa (900 y 1800 MHz), también cumple si se utiliza en otra región, por ejemplo América (850 y 1900 MHz).

La realización práctica del presente PFG se ha hecho en las instalaciones del Laboratorio de Radiofrecuencia de la Secretaría de Estado de Telecomunicación y para la Sociedad de la Información ubicado en El Casar (Guadalajara). En concreto se utilizó el robot articulado movable DASY4 y el software para su control DASY 52.8, disponible en el “banco de medida de Campos Electromagnéticos (Sala de SAR)”. La duración estimada del presente PFG ha sido aproximadamente de cuatro meses.

Para llevar a cabo el presente PFG, se dispuso de todo tipo de material y recursos puestos a disposición por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el propio laboratorio, así como de los distintos terminales móviles duales con los que se realizaron las medidas pertinentes. Como bibliografía básica se han utilizado las diferentes normas indicadas anteriormente, es decir la norma europea CENELEC (basada en la del IEC) y la americana FCC (basada en la del IEEE), así como manuales de los equipos implicados en el bando de medida de SAR: analizadores de redes, robot articulado y software de control, así como el resto de dispositivos utilizados en las medidas.

ABSTRACT

The goal of this Final Degree Project is to perform a comparison of the results obtained in SAR measurements (specific absorption rate) and power using the European standards CENELEC (based on IEC Regulation) and the American FCC (based on IEEE Regulation) to different mobile dual devices. In first place it was made the study of its power and SAR features, seeing that there is shift with respect to the different standards and frequency ranges. In some cases, although they work without any problem in different bands, the difference in levels of emissions obtained in the different bands can be significant.

As mentioned at the beginning, different dual devices were used and relevant measurements were taken from them using the different standards and the procedure in each one of them. To see the specific differences that may exist when using the different standards, the measurements were made in all bands of the device operation and to each one it has been applied in the different standards. This attempted to assess whether there could be some discrepancy in the devices that have the certificate of compliance to a specific standard when used in another band that is not exactly the used band of this standard. To sum up, it was required to verify that a device which is certified to the standard of a region, for example (900 and 1800 MHz), also verifies if it is used in another region, for example America (850 and 1900 MHz).

The practical realization of this Final Degree Project was made in the facilities of the Radio Frequency Laboratory of the Ministry of State for Telecommunications and the Information Society located in El Casar (Guadalajara). Specifically, the movable articulated robot DASY4 was used and the control software DASY 52.8, available in the "Measure Electromagnetic Field testbench (SAR room)". The duration of this Final Degree Project has been about four months. To carry out the present project, all kinds of materials and resources were provided by the Ministry of Industry, Tourism and Trade in its own laboratory, as well as the different mobile dual terminals with which relevant measurements were made. As basic references the different standards indicated above has been used, that is to say the European standard CENELEC (based on IEC standard) and the American FCC (based on IEEE standard), as well as the equipment manuals involved in the SAR measure testbench: network analyzers, articulated robot and control software, as well as the rest of the devices used in the measurements.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	14
1.1 Fases del proyecto.....	15
1.2 Campos electromagnéticos en la proximidad del cuerpo.....	16
2. Normas de medida.....	21
2.1 Normativa europea CENELEC	21
2.2 Normativa americana IEEE.....	22
2.3 Normativa en la comercialización de los productos	23
3. Banco de medida de campos electromagnéticos en la proximidad del cuerpo	26
3.1 Requisitos ambientales.....	27
3.2 Fantoma.....	27
3.2.1 Fantoma de cabeza	28
3.2.2 Fantoma plano	31
3.2.3 Efecto de un soporte para simular la mano.....	31
3.3 Líquido equivalente	32
3.4 Sistema de adquisición de datos	33
3.5 Sonda de medida.....	34
3.6 Robot.....	36
3.7 Sujeción del terminal bajo test.....	36
3.8 Elementos para la realización de la comprobación y validación del sistema	38
3.9 Incertidumbre del fantoma y del líquido de simulación de tejido	40
3.9.1 Incertidumbre de los parámetros dieléctricos del líquido.....	42
3.9.2 Incertidumbre del fantoma.....	43
4. Procedimiento previo para la realización de medidas en espacio libre en terminales móviles	46
5. Procedimiento para medidas de SAR en terminales móviles.....	52

5.1 Vertido de líquidos	52
5.2 Validación de líquidos	52
5.3 Encendido del sistema.....	56
5.4 Ajuste del sistema para comprobación.....	56
5.5 Comprobación del sistema de medida	59
5.6 Medidas de SAR.....	60
5.7 Apagado, recogida de instrumentación y limpieza.....	64
6. Ensayos SAR en terminales móviles	66
6.1 Comprobación y validación de líquidos.....	66
6.1.1 Comprobación del líquido de 900 MHz	67
6.1.2 Comprobación del líquido a 1800 y 1900 MHz.....	68
6.2 Comprobación del sistema de medida	70
6.2.1 Comprobación del sistema para 900 MHz.....	70
6.2.2 Comprobación del sistema para 1800 MHz.....	71
6.2.3 Comprobación del sistema para 1900 MHz.....	72
6.3 Diferencia de diagrama de radiación en espacio libre y en líquido	73
6.4 Ensayos SAR para la comparativa de GSM 850-900 y GSM 1800-1900.....	76
6.4.1 Medidas SAR para comparativa de 850-900 MHz	79
6.4.2 Medidas SAR para comparativa de 1800-1900 MHz.....	85
7. Comparativa.....	92
8. Presupuesto de un banco SAR	96
9. Conclusiones finales.....	99
10. Referencias.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Símbolo del marcado CE	24
Figura 2: Elementos del banco de medida SAR.....	26
Figura 3: Distancias de referencia de la Tabla 3.1	29
Figura 4: Fantoma SAM atravesado en el plano sagital	30
Figura 5: Puntos de referencia del fantoma	31
Figura 6: Ecuación de magnitud de campo eléctrico de la sonda.....	34
Figura 7: Características de la sonda de campo eléctrico	35
Figura 8: robot DASY4	36
Figura 9: Disposición del terminal bajo test en uno de los lados del fantoma de cabeza en la posición cheek (tocando).....	37
Figura 10: Disposición del terminal bajo test en uno de los lados del fantoma de cabeza en la posición tilt (inclinado).....	37
Figura 11: Dispositivo de sujeción del terminal.....	37
Figura 12: Configuración del sistema de chequeo y validación.....	40
Figura 13: Simulador de Estación Base con sus puertos RF 4 IN.....	47
Figura 14: Distancia A-B en un terminal ejemplo.....	48
Figura 15: Contenedor no metálico usado para la calibración de líquidos	53
Figura 16: Sonda coaxial terminada en un abierto con las coordenadas cilíndricas y los radios.....	54
Figura 17: Montaje A para comprobación del sistema.....	57
Figura 18: Montaje B para comprobación del sistema	57
Figura 19: Montaje A y Componentes para comprobación del sistema	57
Figura 20: Montaje B y componentes para comprobación del sistema (vista robot-fantoma).....	58
Figura 21: Montaje B y Componentes para comprobación del sistema	58
Figura 22: Diagrama de bloques del procedimiento de medida a llevar a cabo.....	63
Figura 23: Gráfica de medida del líquido de 900 MHz	67

Figura 24: Gráfica de medida del líquido de 1800 y 1900 MHz.....	68
Figura 25: Instrumental utilizado para la calibración de los líquidos de medida.....	69
Figura 26: Valor de SAR medido para la comprobación de 900 MHz.....	70
Figura 27: Valor de SAR medido para la comprobación de 1800 MHz.....	71
Figura 28: Valor de SAR medido para la comprobación de 1900 MHz.....	73
Figura 29: Diagrama de radiación del Samsung GT-S3650 en espacio libre	74
Figura 30: Atenuación del campo eléctrico del Samsung GT-S3650 en función de la distancia en espacio libre.....	74
Figura 31: Diagrama de radiación del Samsung GT-S3560 en líquido de 1900 MHz.....	75
Figura 32: Atenuación del campo eléctrico del Samsung GT-S3650 en función de la distancia en el líquido de 1900.....	75
Figura 33: Terminales para los ensayos: Samsung GT-S3650, Sony Ericsson y Samsung GT-S7562.....	77
Figura 34: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Samsung GT-S7562 (de arriba a abajo e izquierda a derecha)	77
Figura 35: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Sony Ericsson (de arriba a abajo e izquierda a derecha)	78
Figura 36: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Samsung GT-S3650 (de arriba a abajo e izquierda a derecha)	79
Figura 37: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en el lado izquierdo tocando	80
Figura 38: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en el lado derecho inclinado 15°.....	81
Figura 39: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en el lado izquierdo tocando	82
Figura 40: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en el lado izquierdo tocando	83
Figura 41: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en el lado izquierdo tocando	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de SAR impuesto para público en general y ocupacional en distintas localizaciones del cuerpo humano	18
Tabla 2: Diferencias entre las normativas utilizadas para medidas de SAR	23
Tabla 3: Dimensiones de la cabeza para el fantoma	28
Tabla 4: Porcentaje de ingredientes y valores dieléctricos de líquidos de 300 a 1800 MHz	32
Tabla 5: Porcentaje de ingredientes y valores dieléctricos de líquidos de 1900 a 3000 MHz	33
Tabla 6: Valores numéricos de referencia SAR para dipolos de referencia y fantoma plano	39
Tabla 7: Tabla de incertidumbres en el sistema sin la de los líquidos	42
Tabla 8: Dimensiones mínimas y paso máximo del <i>Area Scan</i> y <i>Zoom Scan</i>	60
Tabla 9: Parámetros obtenidos del líquido de 900 MHz	67
Tabla 10: Cumplimiento del líquido de 900 MHz	67
Tabla 11: Parámetros obtenidos del líquido de 1800 y 1900 MHz	68
Tabla 12: Cumplimiento del líquido de 1800 y 1900 MHz	68
Tabla 13: Medidas y comprobación del sistema para 900 MHz	71
Tabla 14: Medidas y comprobación del sistema para 1800 MHz	72
Tabla 15: Medidas y comprobación del sistema para 1900 MHz	73
Tabla 16: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g	81
Tabla 17: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g	81
Tabla 18: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g	82
Tabla 19: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g	82
Tabla 20: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g	83
Tabla 21: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g	83
Tabla 22: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g	84
Tabla 23: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g	84
Tabla 24: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g	84

Tabla 25: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g.....	84
Tabla 26: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g.....	85
Tabla 27: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g.....	86
Tabla 28: Resultados SAR en GSM 1900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g.....	86
Tabla 29: Resultados SAR en GSM 1900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g.....	86
Tabla 30: Resultados SAR en GSM 1800 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g.....	87
Tabla 31: Resultados SAR en GSM 1800 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g.....	87
Tabla 32: Resultados SAR en GSM 1900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g.....	87
Tabla 33: Resultados SAR en GSM 1900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g.....	87
Tabla 34: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g.....	88
Tabla 35: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g.....	88
Tabla 36: Resultados SAR en GSM 1900 del informe para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g.....	89
Tabla 37: Resultados SAR en GSM 1900 del informe para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g.....	89
Tabla 38: Resultados SAR en GSM 1900 medidos para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g.....	89
Tabla 39: Resultados SAR en GSM 1900 medidos para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g.....	89
Tabla 40: Comparativa de las medidas de SAR para el Samsung GT-S3650.....	92
Tabla 41: Comparativa de las medidas de SAR para el Sony Ericsson.....	92
Tabla 42: Comparativa de las medidas de SAR para el Samsung GT-S7562.....	93
Tabla 43: Presupuesto del banco SAR.....	97

Introducción

1. Introducción

A día de hoy el ser humano está expuesto a distintos tipos de campos electromagnéticos (CEM), entre los cuales podemos citar a los campos estáticos, los campos de frecuencia extraordinariamente baja (los cuales son producidos principalmente por las líneas de alta tensión y transformadores) y los campos de radiofrecuencia (RF), en los que se incluyen las microondas. Desde el punto de vista de la normativa estos campos abarcan un rango de frecuencias desde 0 Hz hasta 300 GHz.

Debido a esta exposición cada vez más intensa, continua y gradual de los campos electromagnéticos generados por distintos aparatos o dispositivos electrónicos sobre el ser humano, a finales de los años 90 el Consejo de Europa estableció la Recomendación 1999/519/CE, en la cual se incluye una contribución para la protección de la salud para limitar la exposición de los trabajadores y del público en general a la radiación electromagnética no ionizante (aquella en la que la onda o partícula no es capaz de arrancar electrones de la materia).

Basándose en las exigencias de esa recomendación y para ratificar su cumplimiento, los organismos oficiales de normalización como el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrónica), desarrollaron en el marco de esa normativa comunitaria: normas para el diseño, prueba de equipos, evaluación de las restricciones básicas y niveles de referencia que se deberían proporcionar para la comercialización con el mercado CE.

La finalidad de este Proyecto Fin de Grado es el estudio de las medidas de SAR (*Specific Absorption Rate*, Tasa de Absorción Específica) para la realización de ensayos simulados con tejidos del cuerpo humano. Se realizará una comparativa entre las distintas normativas y protocolos para determinar si el certificado de conformidad que aplican las empresas al realizar sus informes con la normativa IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) es válido para tenerlo en cuenta con dispositivos que aplicarían la normativa CENELEC (en nuestro caso observando si las medidas hechas con la norma del CENELEC producen un gran cambio con respecto a las del IEEE) y por tanto, si es válido para ratificar la conformidad con las normas europeas.

El proyecto se ha realizado en el Laboratorio de Radiofrecuencia de la Secretaría de Estado de Telecomunicación y para la Sociedad de la Información (S.E.T.S.I) situado en El Casar (Guadalajara). Los ensayos medidos han sido sobre terminales móviles del propio laboratorio y también de uso personal.

1.1 Fases del proyecto

Como se ha comentado anteriormente la finalidad de este proyecto es la comparación entre las medidas de SAR tomadas sobre terminales móviles con respecto a los informes hechos para la normativa IEEE (es decir, para GSM 850 y GSM 1900), y las medidas acordes con la normativa del IEC 62209 (únicamente se tendrá en cuenta para cabeza, por lo tanto será la primera parte de la normativa, 62209-1: 2005 aplicándolo para GSM 900 y GSM 1800).

Como ya se dijo anteriormente, el proyecto se ha realizado en el Laboratorio de Radiofrecuencia de la Secretaría de la Secretaría de Estado de Telecomunicación y para la Sociedad de la Información (S.E.T.S.I) situado en El Casar (Guadalajara).

El proyecto, que en su fase de realización de medidas ha tenido una duración de alrededor de cuatro meses ha comenzado con el estudio del banco de medidas y el conocimiento profundo del equipamiento utilizado para seguidamente comenzar con las medidas haciendo uso del banco de medidas existente, documentación pertinente, aparatos requeridos para medidas adicionales y los terminales móviles para las susodichas medidas.

Las distintas partes en las que está dividido este proyecto son las siguientes:

- Breve explicación de los distintos tipos de campos electromagnéticos y más concisamente de la SAR, que es en la que se centra este proyecto.
- Explicación de las distintas normas (europea y americana) usadas para realizar la comparativa y sus diferencias con respecto a procedimientos.
- Particularización del banco de medida SAR explicando cada uno de sus componentes y características.
- Procedimiento previo para la realización de medidas en espacio libre de terminales móviles similar al hecho para las medidas de SAR, pero habiendo sido modificado por el autor del proyecto.
- Procedimiento llevado a cabo para las medidas de SAR en los terminales móviles.
- Realización de ensayos de SAR en terminales móviles para GSM 900 y GSM 1800 haciendo una comparativa de resultados con respecto a los de GSM 850 y GSM 1900.
- Comparativa de las medidas de SAR con mayor nivel.
- Presupuesto aproximado del banco de medida usado para las mediciones de SAR.
- Conclusiones finales obtenidas tras la comparativa llevada a cabo.
- Bibliografía utilizada para la realización del proyecto.

1.2 Campos electromagnéticos en la proximidad del cuerpo

Los campos electromagnéticos están compuestos de forma indivisible en campo eléctrico, E (V/m) y campo magnético, H (A/m), y estos pueden afectar a partículas que contienen cargas eléctricas. El cuerpo humano está compuesto por diferentes tejidos que tienen unas características electromagnéticas determinadas, los cuales absorben la energía que incide en ellos, en mayor o menor medida dependiendo de la fuente que los genera. Por ello, como al absorber energía se calientan, será necesario imponer unos límites para la protección de la salud.

Se adoptarán una serie de restricciones básicas y niveles de referencia impuestos para la protección de la salud y así prever el cumplimiento de las emisiones electromagnéticas en el rango de frecuencias deseado que afecte al cuerpo humano.

En el contexto de la exposición de los campos electromagnéticos de tiempo variable, podemos encontrarnos las distintas restricciones básicas, basadas en los efectos sobre la salud y de consideración biológica.

Dependiendo de la frecuencia del campo, tendremos en cuenta:

- Entre 0 Hz y 1 Hz, la inducción magnética, B (T, teslas), que es la cantidad vectorial que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento.
Con ello se pretende incidir en los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central.
- Entre 1 Hz y 10 MHz, la densidad de corriente, J (A/m²), se define como la corriente que fluye por una unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente en un conductor volumétrico como por ejemplo el cuerpo humano, o parte de éste.
Su objetivo de restricción básica es la de proteger contra estímulos en el sistema nervioso debido a la exposición.
- Entre 100 kHz y 10 GHz, la tasa de absorción específica, SAR (W/kg ó mW/g), es la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de tejido corporal.
Sus restricciones básicas son el evitar la disipación de calor de cuerpo entero y de calentamiento local excesivo de los tejidos que le causen un fuerte daño.
- Entre 10 GHz y 300 GHz, la densidad de potencia, S (W/m²), cantidad en la que se absorbe la potencia radiante en la superficie corporal o cerca de ella para frecuencias muy altas y cuya profanidad de penetración en el cuerpo es baja.

En este proyecto, al realizar medidas de campos electromagnéticos en la proximidad del cuerpo en terminales móviles, se tiene en cuenta el rango de frecuencias que usan, en este caso GSM 900, GSM 1800 y GSM 1900 por lo que estaremos entorno a los cientos de MHz, por lo que nos interesarán las medidas de SAR.

Como se expuso anteriormente, la SAR se define como la cantidad de energía que es absorbida por unidad de masa del tejido corporal (W/kg ó mW/g).

Más técnicamente, la SAR se define como la derivada con respecto al tiempo del incremento de energía electromagnética absorbida (dW) dividido por el incremento de masa (dm) contenido en un diferencial de volumen (dV) de una densidad de masa dada (ρ) (1).

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (1)$$

También podemos obtener la SAR si tenemos en cuenta que su cálculo se puede realizar sabiendo que es proporcional al cuadrado del campo eléctrico eficaz, E^2 (V^2/m^2), a la conductividad, σ (S/m) e inversamente proporcional a la densidad de masa del material, ρ (kg/m^3) (2).

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (2)$$

La SAR en un cuerpo biológico expuesto en un campo de radiofrecuencia (RF) depende de una serie de factores:

- Geometría del tejido, propiedades dieléctricas y orientación relativa del cuerpo a medir.
- La frecuencia utilizada en el ensayo, la potencia utilizada, la polarización del EUT (*Equipment Under Test*, Equipo Bajo Prueba) y de las antenas y si estamos en campo cercano o lejano (en la cámara semianecóica tendremos campo cercano).
- Los efectos de las ondas en reflexión y refracción.
- La incertidumbre que tengamos con respecto a las mediciones de líquidos, temperaturas, etc.

Otra manera de determinar la SAR, puede ser con mediciones de incrementos de temperatura en el líquido de tejido equivalente. Siendo c (J/kg °K) el calor específico, ΔT (°K) el cambio de temperatura y Δt (s) la duración de exposición. La ecuación que nos permite obtener la SAR es (3):

$$SAR = \frac{c\Delta T}{\Delta t} \Big|_{t=0} \quad (3)$$

Se aplicarán las medidas necesarias dictadas en la Recomendación 1999/519/CE [1] para no exceder el sobrecalentamiento que producirá la SAR sobre el cuerpo humano. Para ello, la ICNIRP (*International Commission on non-Ionizing Radiation Protection*, Comisión Internacional sobre la Protección contra la Radiación No Ionizante) desarrolló en 1998 una serie de pautas llamada *Health Physics* 74 (4): 494-522 (1998) [2], la guía sobre límites de exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variantes en el tiempo.

En esta guía se examinaban los problemas crecientes en el campo de la protección contra los distintos tipos de radiación no ionizante. Se establece como perjudicial para la salud que se produzca un incremento de 1° C en el cuerpo de una persona en un entorno controlado, equivale a una SAR de 4 W/kg durante 30 minutos de exposición continuada. Dependiendo de si la exposición se considera ocupacional o pública, se tendrá en cuenta un factor de seguridad para el público, dividiéndolo en 5 veces con respecto al ocupacional.

La siguiente tabla nos muestra los valores de restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos de tiempo variante con respecto a la SAR:

LOCALIZACIÓN	PÚBLICO	OCUPACIONAL
SAR promedio en cuerpo entero (W/kg)	0,08	0,4
SAR localizado en cabeza y tronco (W/kg)	2	10
SAR localizado en miembros (W/kg)	4	20

Tabla 1: Límites de SAR impuesto para público en general y ocupacional en distintas localizaciones del cuerpo humano

Aunque se proporcionan todos los valores para las zonas del cuerpo humano, tendremos en cuenta que los límites usados por CENELEC (en la recomendación 1999/519/CE), para las medidas de SAR son la de exposición en cuerpo entero de 0,08 W/kg y la de 2 W/kg para la exposición en cabeza y tronco. Esto se tiene en cuenta para una masa promedio de 10g de tejido contiguo con propiedades eléctricas casi homogéneas.

Sin embargo, la normativa americana (IEEE) Std 1528-2003 [5] pone de manifiesto que la exposición en cabeza y tronco es de 1,6 W/kg sobre una masa promedio de 1g de tejido contiguo.

Normas de medida

2. Normas de medida

La realización de mediciones SAR deben tenerse en cuenta sabiendo que han de actuar bajo el marco de las normativas de exposición de campos electromagnéticos para cabeza y cuerpo humanos en dispositivos de comunicaciones inalámbricos. Es por esto, que se siguen una serie de procedimientos y protocolos particulares con el fin de obtener una medida bien hecha.

De manera general, en el ámbito internacional son más de una las comisiones que se dedican a la realización de estas normas, una es el IEC, mientras que la otra es el IEEE.

Ambas comisiones tienen protocolos similares a la hora de realizar dichas mediciones. También han sido acogidas y desarrolladas en un ámbito más continental, el CENELEC más direccionado al entorno europeo, y el IEEE se adentra en el continente americano y asiático.

A nivel de procedimientos y pautas, la norma IEC y la CENELEC son equitativas. En América está la FCC (*Federal Communications Commission*, Comisión Federal de Comunicaciones) [7] basada en el IEEE, también ambas pueden usarse para visualizar los procedimientos seguidos para medidas electromagnéticas de SAR. Los procedimientos utilizados para medidas son prácticamente iguales.

2.1 Normativa europea CENELEC

La normativa CENELEC basada en el IEC tiene por objetivo especificar los métodos de medida seguidos para la determinación de la SAR haciendo uso de la parte radiante del dispositivo inalámbrico de comunicaciones en las proximidades del cuerpo humano.

Una distinción del procedimiento es que tiene un límite diferente para público en cabeza y tronco en 10g, este límite varía con respecto a la norma IEEE que además es para 1g de tejido. También se dividen las normas utilizadas para cabeza y tronco del cuerpo humano con el fin de seguir un manual y protocolo específico para cada caso para la norma CENELEC. Es obligatorio seguir el patrón de medir para los canales medio, bajo y alto en la posición e inclinación del terminal en la que obtengamos peor SAR (mayor SAR).

Las normas utilizadas para este fin son:

- IEC 62209-1:2005. Norma internacional elaborada por el IEC, en la que se establece el procedimiento a seguir para medidas de SAR en dispositivos de radiofrecuencia en las proximidades de la oreja. El rango de frecuencia permitido es de 300 MHz a 3 GHz y establece modelos de cabeza, instrumentación y procedimientos a seguir.
- IEC 62209-2:2010. Norma internacional elaborada por el IEC, en la que se establece el procedimiento a seguir para medidas de SAR en dispositivos de radiofrecuencia en las proximidades del cuerpo humano. El rango de frecuencia permitido es de 30 MHz a 6 GHz y establece modelos de cuerpo, instrumentación y procedimientos a seguir.

2.2 Normativa americana IEEE

La normativa IEEE tiene por objetivo exponer técnicas de medida para la determinación de la SAR en dispositivos inalámbricos de comunicaciones en la cabeza humana, aunque en la normativa también se especifica qué mediciones realizar en las proximidades del cuerpo.

La distinción de esta norma con respecto a la europea radica en que se tiene un límite de 1,6 W/kg para cabeza y tronco en 1g, para todo tipo de público general, mientras que para la norma CENELEC es de 2 W/kg para cabeza y tronco en 10g. A pesar de que la norma dice que también se realicen ensayos en el canal medio, bajo y alto de la posición en la que obtengamos peor SAR (mayor SAR), algunos fabricantes las pasan por alto si creen que en los canales bajo y alto no se superará la SAR obtenido en el canal medio.

Las normas utilizadas son:

- IEEE 1528:2003. Norma internacional elaborada por el IEEE, en la que se establecen las técnicas de medidas para SAR. El rango de frecuencia permitido es de 300 MHz a 3 GHz. Establece modelos de cabeza y cuerpo, instrumentación y procedimientos a seguir.
- FCC OET Bulletin 65: Norma americana basada en la del IEEE, en la que se establece una evaluación de la conformidad con respecto a las pautas de la FCC para la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Esta norma es prácticamente la misma que la IEEE 1528.

DIFERENCIAS	CENELEC	IEEE
Límite	2 W/kg (cabeza y tronco en público en 10g)	1,6 W/kg (cabeza y tronco en público en 1g y 10g)
Canales	Medio, Bajo y Alto obligatorio	Medio, Bajo y Alto obligatorio (las empresas eligen)
Norma	Separados en cabeza y tronco	Cabeza y tronco en la misma norma

Tabla 2: Diferencias entre las normativas utilizadas para medidas de SAR

2.3 Normativa en la comercialización de los productos

Para introducir productos (en este caso terminales inalámbricos de comunicaciones) en el mercado de la Comunidad Europea, se han de realizar ciertos controles previos dados en el Reglamento CE del Parlamento Europeo y del Consejo (765/2008) [8]. Las autoridades de cada Estado miembro dispondrán de poderes y recursos para ejercer sus funciones correctamente.

Las autoridades encargadas de los controles en las fronteras exteriores suspenderán el despacho a libre práctica (su comercialización) de un producto si:

- El producto posee características que inducen a creer que en su instalación, mantenimiento y uso planteen un grave riesgo para la salud, la seguridad, el medio ambiente u otros aspectos de interés público.
- El producto no lleva la documentación escrita o electrónica exigida por la legislación comunitaria de armonización pertinente o no lleva el marcado exigido por dicha legislación.
- Se ha colocado el marcado CE (*Conformité Européenne*, Conformidad Europea) en el producto de forma falsa o engañosa.

Si las autoridades consideran que el producto plantea un riesgo grave o que no cumple con la legislación comunitaria, estamparán producto peligroso o producto no conforme (respectivamente) sobre cualquier factura comercial que acompañe al producto y sobre cualquier otro documento de acompañamiento pertinente.

El marcado CE será colocado únicamente por el fabricante o por un representante autorizado. Al colocar este distintivo, el fabricante asume la responsabilidad de conformidad del producto con todos los requisitos comunitarios aplicables. A su vez, está prohibido colocar cualquier otro marcado en el producto que afecte a la visibilidad, legibilidad y significado del marcado CE.

Si la legislación específica no impone dimensiones concretas, el marcado CE tendrá una altura mínima de 5 mm. En la Figura 1, el símbolo utilizado para el marcado CE, el cual se consigue cumpliendo la legislación comunitaria:



Figura 1: Símbolo del marcado CE

Banco de medida de
campos
electromagnéticos
en la proximidad del
cuerpo

3. Banco de medida de campos electromagnéticos en la proximidad del cuerpo

El banco de medida SAR, es el sistema de medida compuesto por los distintos elementos a partir de los cuales podremos realizar las mediciones de SAR pertinentes para los objetivos del proyecto.

El procedimiento utilizado de forma resumida consiste en posicionar la sonda dosimétrica en el fantoma relleno del líquido equivalente que simula las características dieléctricas del tejido humano para la frecuencia que necesitemos medir. Utilizando los tipos de medidas que dicten las normas para ello, se procesarán mediante el software DASY5.2.8 para su posterior evaluación en postprocesamiento.

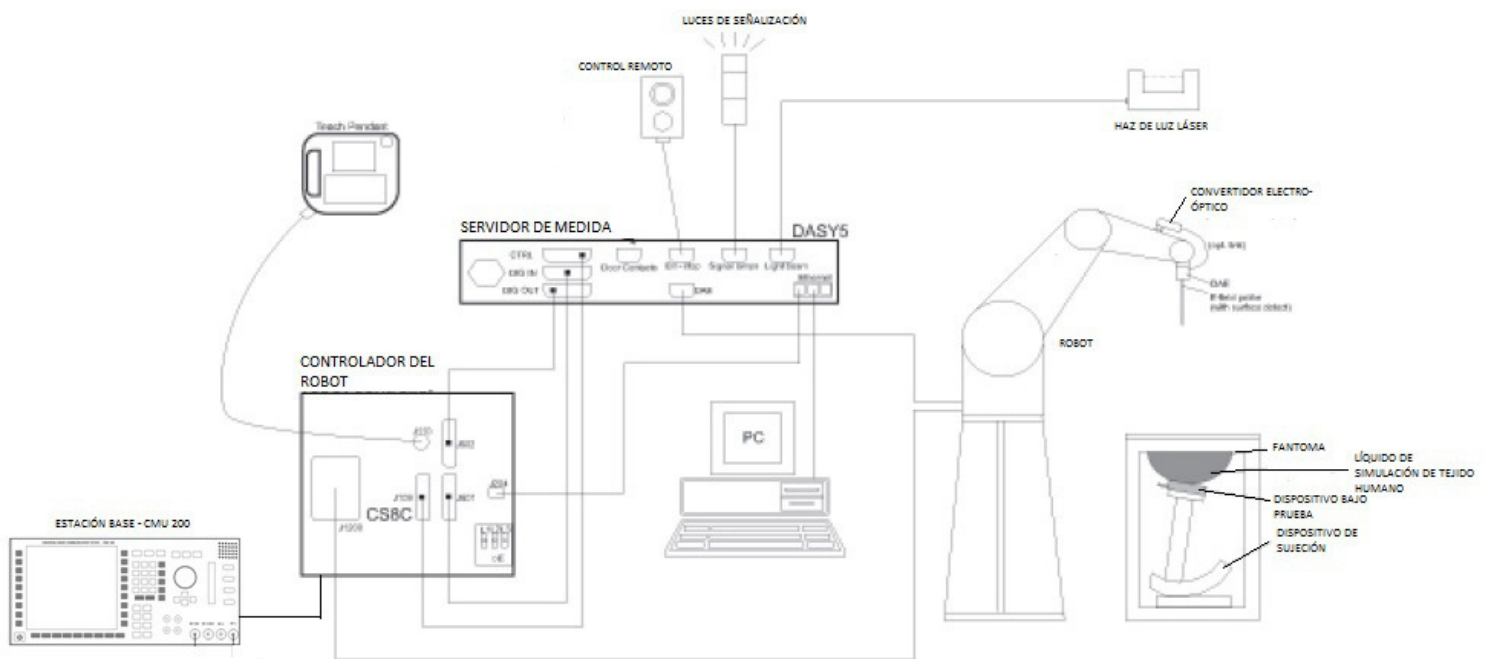


Figura 2: Elementos del banco de medida SAR

Los distintos elementos constituyen el corazón de la medición SAR de cualquier tipo de dispositivo para su estudio en el campo de la salud. A continuación se describirán los distintos elementos para tener así una clara visión de su objetivo y/o funcionalidad.

3.1 Requisitos ambientales

Los ensayos se habrán realizado en un laboratorio en el que se hayan establecido las condiciones ambientales [4] propicias según dicta la norma:

- La temperatura ambiente debe estar dentro del rango de 18°C a 25°C, manteniendo una variación de la temperatura del líquido no excedida de un $\pm 2^\circ\text{C}$ durante la realización del test. Se controlará todo esto mediante un controlador de temperatura puesto dentro de la cámara semianecóica y controlado desde fuera de la cámara, manteniendo aire caliente o más frío según se necesite.
- El nivel de ruido ambiental debe estar por debajo de 0,012 W/kg promediados en una masa de 1g de tejido contiguo (3% del límite mínimo de detección de 0,4 W/kg). Algunas fuentes de ruido pueden dar mayor ruido que otras. Para tratar de evitarlo nos aseguraremos que no tenemos cerca del lugar de ensayo ninguna fuente de ruido y garantizar que no hay ningún tipo de vibración en el lugar de ensayo (ya que la sonda y el DAE (*Data Acquisition Electronics*, Electrónica de Adquisición de Datos) producen cargas estáticas al ser movidas).
- El equipo inalámbrico que se use para ensayo (EUT) no debe estar conectado a ninguna red inalámbrica local, únicamente debe realizar una conexión mediante antenas con el simulador de estación base.
- Los efectos provocados por reflexiones y fuentes secundarias de radiofrecuencia deben estar por debajo del 3% del SAR medido. Esto se consigue gracias al material absorbente situado en las paredes interiores de la cámara semianecóica.

3.2 Fantoma

El fantoma [4] es un recipiente que simula las partes del cuerpo humano. Será de suma importancia definir y estandarizar las características, dimensiones y propiedades materiales de este, las cuales afectarán en las medidas SAR. Se rellenará del líquido equivalente de tejido humano contiguo con el fin de representar las propiedades dieléctricas del cuerpo humano.

3.2.1 Fantoma de cabeza

La forma y tamaño estándar del fantoma viene dada por el tamaño y dimensiones del 90% de las cabezas más grandes de los varones adultos del personal de la armada de los Estados Unidos, estudiado en 1988. Estudios dosimétricos sugieren que estas cabezas grandes de varones adultos absorben más energía y constituyen un peor caso de exposición en comparación con las cabezas pequeñas (mujeres y niños). Esto quiere decir que a una mayor superficie de exposición a la radiación, menor energía absorberá.

A continuación, se muestran las dimensiones obtenidas en el estudio:

Ref.	Anatomy	Gordon report mm			SAM mm	Deviation %
		Mean value	Standard deviation	90th percentile		
H3	Bigonial breadth	118,9	7,9	129,2	130,0	0,6
H6	Bitragion breadth	144,8	6	152,3	152,7	0,2
H10	Chin-Back of head	194,2	10,3	207,3	206,5	-0,4
H11	Chin-Top of head	216,8	8,9	228,3	220,4	-3,5
H18	Glabella-Back of head	199,7	7,2	208,5	209,2	0,3
H19	Glabella-Top of head	96,2	7,3	105,6	104,4	-1,1
H30	Menton-Top of head	232,0	8,8	243,3	246,7	1,4
H36	Sellion-Back of head	197	7,1	205,9	205,3	-0,3
H37	Sellion-Top of head	112	6,9	120,9	121,7	0,7
H38	Stomion-Back of head	199,4	9,6	211,9	211,4	-0,2
H39	Stomion-Top of head	186,3	7,8	196,3	196,3	0,0
H40	Subnasale-Back of head	203,5	8,3	213,6	213,0	-0,3
H42	Subnasale-Top of head	161,9	7,7	171,8	177,6	3,4
H43	Tragion-Back of head	98,9	8,5	106,4	106,4	0,0
H44	Tragion-Top of head	131	5,7	138,2	138,2	0,0
15	Bitragion chin arc	325,8	13,4	343,1	329,3	-4,0
16	Bitragion coronal arc	353,3	12,9	369,7	367,3	-0,6
18	Bitragion frontal arc	304,3	10,6	318,2	314,1	-1,3
19	Bitragion submandibular arc	304,2	14,5	323,2	333,5	3,2
20	Bitragion subnasal arc	292	11,1	306,3	305,3	-0,3
60	Head breadth	151,7	5,4	158,6	158,4	-0,1
61	Head circumference	567,7	15,4	587,3	594,8	1,3
62	Head length	197,1	7,1	206	206,0	0,0
77	Menton-Sellion length	121,9	6,5	130,4	125,0	-4,1
80	Neck circumference	379,6	19,7	405,3	395,4	-2,5

Tabla 3: Dimensiones de la cabeza para el fantoma

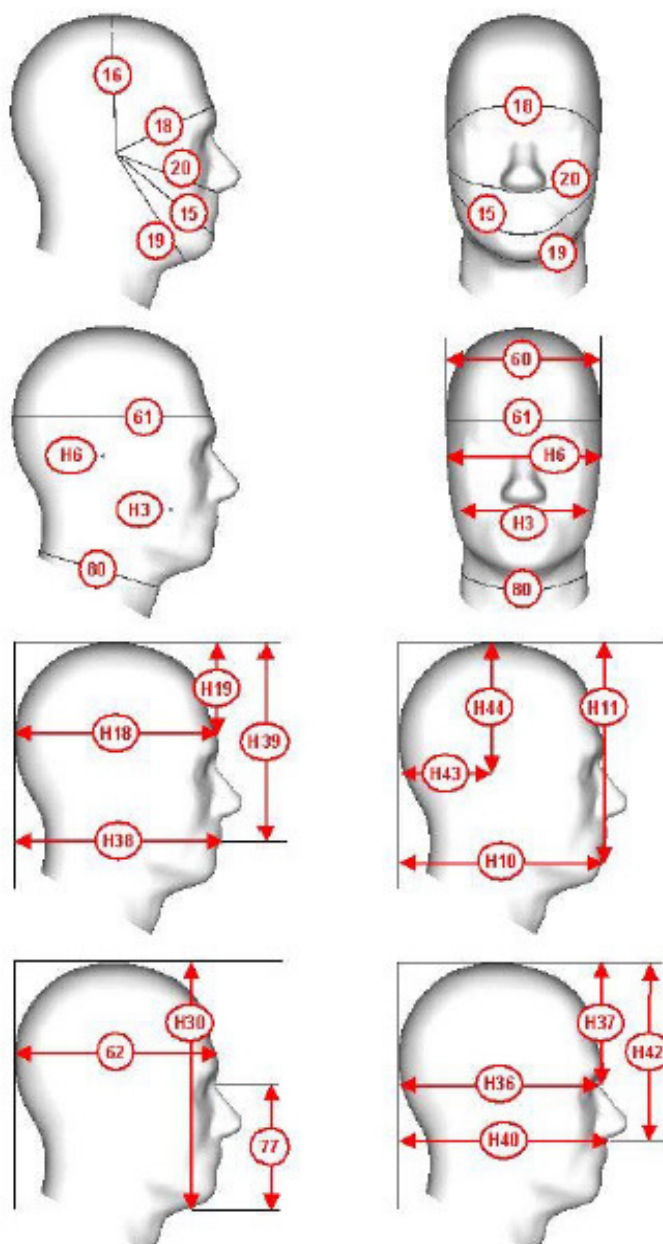


Figura 3: Distancias de referencia de la Tabla 3

Este tipo de fantoma se denomina como SAM (*Specific Anthropomorphic Mannequin*, Maniquí Antropomórfico Específico), y es el utilizado para las medidas SAR según todos los estándares (IEEE y CENELEC).

El material de revestimiento del fantoma deberá ser resistente a todos los ingredientes utilizados en el medio del líquido equivalente de tejido. Su permitividad relativa (ϵ_r) ≤ 5 y una tangente de pérdidas (pérdida de energía en un dieléctrico) $\leq 0,05$.

El fantoma utilizado está atravesado sagitalmente, lo que muestra una parte izquierda y una derecha de la cabeza humana totalmente diferenciada (Figura 4).

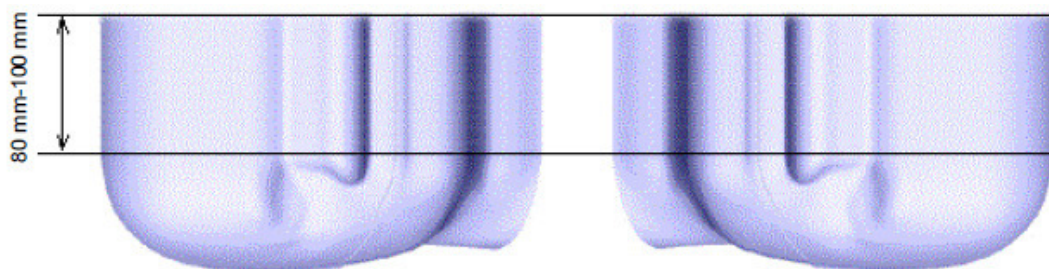


Figura 4: Fantoma SAM atravesado en el plano sagital

La norma (tanto americana como europea) dice que se tenga relleno el fantoma al menos en 15 cm desde la parte baja del fantoma, donde se encuentra el punto de referencia de la oreja hasta la superficie del líquido. Esto es para disminuir las reflexiones que puedan darse desde la parte de arriba (donde se encuentra la interfaz aire-líquido).

La forma del fantoma deberá tener una tolerancia menor que $\pm 0,2$ mm con respecto al fichero CAD (*Computer-Aided Design*, Diseño Asistido por Ordenador) del fantoma SAM. El espesor de la cubierta deberá ser de $2 \pm 0,2$ mm, excepto las orejas y las paredes del perímetro extendidas. El espacio que habrá desde la parte interna de la oreja dentro del fantoma y el ERP (*Ear Reference Point*, Punto de Referencia de la Oreja) será de 6 mm con una tolerancia menos de $\pm 0,2$ mm.

El ERP, será el lugar clave donde se situará el terminal móvil para la realización de ensayos (se pondrá en ese punto el altavoz de escucha del móvil). Es RE o LE dependiendo de en qué lado de la cabeza estemos realizando pruebas (Figura 5).

La definición de los puntos de referencia de la oreja se toma como la intersección de la línea NF (*Neck-Front*, Cuello-Frente) y la línea BM (*Back-Mouth*, Parte posterior-Boca).

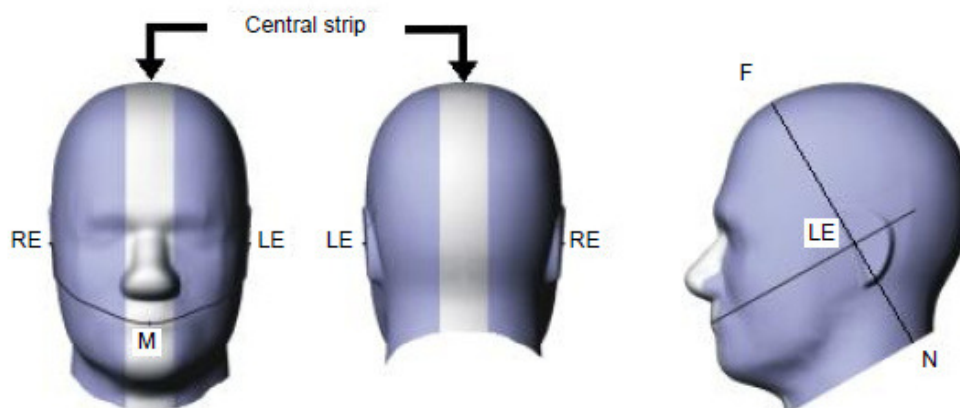


Figura 5: Puntos de referencia del fantoma

3.2.2 Fantoma plano

El fantoma plano tiene la peculiaridad de que la superficie inferior de su interior es plana totalmente. Se usa tanto para el chequeo y validación del sistema como para los ensayos de dispositivos simulados sobre el torso humano.

Las propiedades dieléctricas son las mismas que en el caso del fantoma de cabeza, cambiando su forma siendo la de una elipse de ejes mayor y menor de 600 ± 5 mm y 400 ± 5 mm respectivamente. Aquí sí se tiene una diferencia entre la norma europea 62209-2 y la americana FCC, ya que en la americana distingue entre un grosor de la superficie del fantoma de $2 \pm 0,2$ mm para frecuencias superiores a 800 MHz y $6,3 \pm 0,2$ mm para frecuencias de menos de 800 MHz; y la europea dicta $2 \pm 0,2$ mm para el rango de frecuencias de 300 MHz a 6 GHz.

3.2.3 Efecto de un soporte para simular la mano

Según el IEC se decidió estudiar si el hecho de sujetar con una mano (de características propias del tejido humano) el terminal móvil tenía una diferencia notable en las medidas SAR. Este documento con respecto a la norma 62209-1:2005 fue considerado por el grupo MT1 [3].

En primer lugar, para el caso de continuar con el protocolo de medidas SAR para cabeza, el grupo HEMI observó que en el 85% de los móviles ensayados la SAR en cabeza disminuyó, y sólo en un solo teléfono se decretó un incremento del 40% de SAR.

Añadiendo un soporte para simular la mano todo se vuelve más complejo, nos añadiría muchas más incertidumbre sobre las medidas ya que también tendríamos que tener en cuenta la posición de la mano y de los dedos, por lo que habría que realizar numerosos ensayos. También en las posiciones *cheek* (tocando) y *tilt* (inclinada) del móvil con respecto a la cabeza, se hace muy complicado tener un soporte flexible para ello.

Además, no implicaría una mayor exactitud de las medidas realizadas.

Por lo que la opción más viable, rentable y eficiente es proseguir con los procedimientos que se han llevado a cabo hasta el momento.

3.3 Líquido equivalente

La simulación del tejido humano [4] se hace con el uso del líquido equivalente de tejido. Cada líquido tendrá unas propiedades dieléctricas (permitividad relativa y conductividad) distintas dependiendo de la frecuencia que simulen para los ensayos.

Para frecuencias menores a 3 GHz, la desviación permitida para la permitividad relativa y conductividad será de $\pm 5\%$, mientras que si la frecuencia es superior a 3 GHz esa tolerancia es de $\pm 10\%$. Si para una frecuencia en concreto no se saben los parámetros dieléctricos de esta, se procederá a realizar una interpolación lineal.

Frecuencia (MHz)	300			450			835			900			1 450			1 800		
Nº recipiente	1	1	3	1	1	2	3	1	1	2	2	3						
Ingredientes (% en peso)																		
1,2-Propanodiol						64,81												
Diacetina			48,9				49,2					49,43						
Bactericida	0,19	0,19	0,5	0,10	0,10		0,5					0,50						
DGBE								45,51	47,00	13,84	44,92							
HEC	0,98	0,98		1,00	1,00													
NaCl	5,95	3,95	1,7	1,45	1,48	0,79	1,1	0,67	0,36	0,35	0,18	0,64						
Sacarosa	55,32	56,32		57,00	56,50													
Triton X-100										30,45								
Agua	37,56	38,56	48,9	40,45	40,92	34,40	49,2	53,82	52,64	55,36	54,90	49,43						
Parámetros dieléctricos medidos																		
ϵ_r'	46,0	43,4	44,3	41,6	41,2	41,8	42,7	40,9	39,3	41,0	40,4	39,2						
σ (S/m)	0,86	0,85	0,90	0,90	0,98	0,97	0,99	1,21	1,39	1,38	1,40	1,40						
Temp. (°C)	22	22	20	22	22	22	20	22	22	21	22	20						
Valores a conseguir																		
ϵ_r'	45,3	43,5		41,5		41,5		40,5		40,0								
σ (S/m)	0,87	0,87		0,90		0,97		1,20		1,40								

Tabla 4: Porcentaje de ingredientes y valores dieléctricos de líquidos de 300 a 1800 MHz

Frecuencia (MHz)	1 900		1 950	2 000	2 100		2 450		3 000
Nº recipiente	1	2	4	1	1	2	2	3	2
Ingredientes (% en peso)									
1,2-Propanodiol									
Diacetina								49,75	
Bactericida								0,50	
DGBE	44,92	13,84	45,0	50,0	50,0	7,99	7,99		7,99
HEC									
NaCl	0,18	0,35				0,16	0,16		0,16
Sacarosa									
Triton X-100		30,45				19,97	19,97		19,97
Agua	54,90	55,36	55,0	50,0	50,0	71,88	71,88	49,75	71,88
Parámetros dieléctricos medidos									
ϵ_r'	39,9	41,0	40,1	37,0	36,8	41,1	40,3	39,2	37,9
σ (S/m)	1,42	1,38	1,41	1,40	1,51	1,55	1,88	1,82	2,46
Temp. (°C)	21	21	20	22	22	20	20	20	20
Valores a conseguir									
ϵ_r'	40,0				39,8		39,2		38,5
σ (S/m)	1,40				1,49		1,80		2,40

Tabla 5: Porcentaje de ingredientes y valores dieléctricos de líquidos de 1900 a 3000 MHz

En las tablas 4 y 5, se muestra el porcentaje de ingredientes para conseguir en los líquidos un efecto similar al del tejido humano para la frecuencia requerida, los parámetros ideales que se deberían obtener a una temperatura del líquido y los valores a conseguir típicos de cada líquido.

3.4 Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos está formado por el DAE [9], la sonda de medida dosimétrica, el robot DASY4 y la sujeción para el terminal bajo medida.

El DAE consiste en un preamplificador altamente sensible con puesta a cero automática, un canal y un multiplexor de ganancia conmutada, un convertidor A/D (Analógico/Digital) de 16 bits y un codificador con unidad de control lógico.

La sonda que se sitúa en el DAE incluye dos sistemas de sensores distintos para evitar colisiones frontales y laterales y para detección mecánica de la superficie. La impedancia de entrada de este sistema es de alta impedancia (200 MOhm). Es importante mantener el DAE seco para que la humedad de éste no aumente.

El DAE usará un par de pilas de 9V, y sería muy recomendable que fueran recargables ya que su tiempo de vida dependerá del uso. Se activará presionando el pulsador durante un segundo, y se apagará pulsando durante tres segundos. Tendremos un cable de conexión del DAE al EOC (*Electro-optical Converter*, Convertidor Electro-óptico) montado sobre el brazo del robot.

3.5 Sonda de medida

Las sondas dosimétricas de campo eléctrico [9] están equipadas con tres sensores de diodo ortogonales para medidas de SAR en dispositivos de baja potencia. En el campo cercano de un dispositivo inalámbrico, las distribuciones electromagnéticas de campo tienen variaciones de magnitud y polarización. La sonda ideal para mediciones de SAR, debe ser mucho más pequeñas que la longitud de onda (λ) en el líquido, mostrando una respuesta lineal del cuadrado de la intensidad de campo eléctrico incidente y no debería perturbar el campo medido.

En la práctica las sondas de campo eléctrico consisten en un sistema de tres dipolos ortogonales entre sí y alimentados por el centro. La magnitud de campo eléctrico es de la forma:

$$|E| = \sqrt{|E_1|^2 + |E_2|^2 + |E_3|^2}$$

Figura 6: Ecuación de magnitud de campo eléctrico de la sonda

La respuesta de las sondas designadas para medidas SAR puede desviarse de los requisitos ideales. Los materiales de construcción de la sonda, su tamaño finito, el desplazamiento físico a lo largo de los dipolos y la influencia de las tolerancias de fabricación de los sensores pueden producir un desvío de la respuesta lineal ideal, así como el comportamiento del diodo no ideal, los efectos de carga y el acoplamiento de los espurios.

Como consecuencia, la salida de la sonda no dependerá sólo de la intensidad de campo, otros factores serán:

- Polarización y dirección del campo incidente.
- Gradientes del campo local en la proximidad del punto de medida donde los sensores de la sonda están situados.
- Propiedades dieléctricas del medio y límites del medio en la proximidad de la sonda.
- Frecuencia, modulación y nivel de potencia de la fuente.

- Fuentes interferentes de campo como puedan ser ruido, campos estáticos, campos FEB en el ambiente o equipos cercanos.
- Otras influencias físicas como la temperatura, que podría cambiar durante el uso de la sonda.

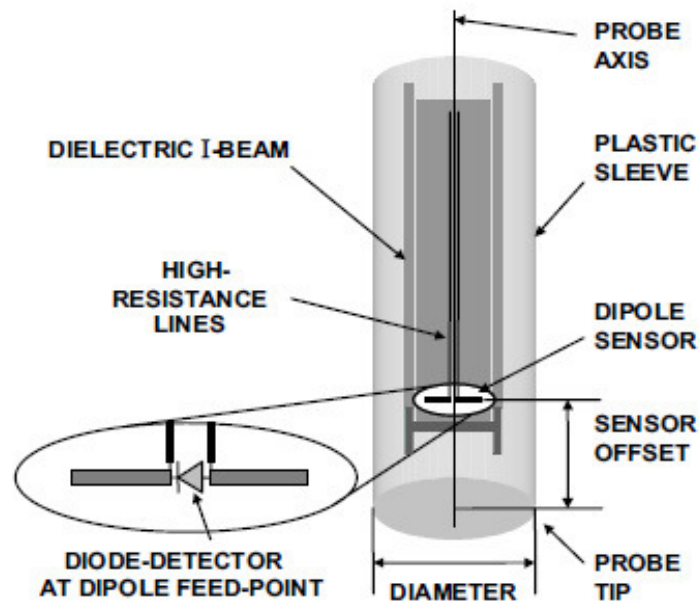


Figura 7: Características de la sonda de campo eléctrico

La sensibilidad de salida de la sonda debe ser conocida de manera que se pueda determinar la calibración y un error que pudiera darse a la hora de medir (incertidumbre de la sonda). Este tipo de sondas están especialmente diseñadas y calibradas para su uso en líquidos con altas permitividades, por lo que no será recomendable su uso en aire ya que su isotropía esférica es muy pobre (± 2 dB).

El diámetro de la punta de la sonda de campo eléctrico es típicamente de 2,5-6 mm de manera general albergando tres sensores de 1,5-3 mm. Esto variará del tipo de sonda utilizada (también con respecto a para qué sistema esté calibrada).

Su funcionamiento llega hasta un máximo de 6 GHz, usando una resolución espacial de unos pocos milímetros. No valdrá este tipo de sonda si se quiere realizar una medida cercana de 2-5 mm a cualquier límite y tampoco podremos usarla para la evaluación de intensidades de campo inducidas en estructuras de un volumen milimétrico.

3.6 Robot

Sistema de posicionamiento de gran precisión [9] encargado de hacer los movimientos adecuados con el fin de situar la sonda en el lugar deseado. La precisión del posicionador sobre los puntos deseados de medida será de $\pm 0,2$ mm con una gran seguridad debido a su diseño de tipo industrial y la resolución mínima permitida por el robot es de menos de 1 mm (distancia entre puntos de medida menor de 1 mm). El motor utilizado por el robot permite movimientos continuos y no por pasos.

El brazo del robot está compuesto por seis ejes distintos, de tal manera que si en cualquiera de sus movimientos en cualquier eje, nota alguna colisión, se desactivará remotamente el robot para evitar causar un daño. También se le podrá ordenar al robot moverse mediante los conocidos ejes X, Y y Z, o mediante unos ejes de rotaciones llamados *Yaw*, *Pitch* y *Roll* (guiñada, cabezada y balanceo). *Yaw* es una rotación positiva alrededor del eje Z, *Pitch* es una rotación positiva alrededor del eje Y habiendo movido previamente el *Yaw* y *Roll* es una rotación positiva alrededor del eje Z tras haber movido previamente el *Yaw* y el *Pitch*.

Aquí se puede observar una imagen del robot típico utilizado (Figura 8):

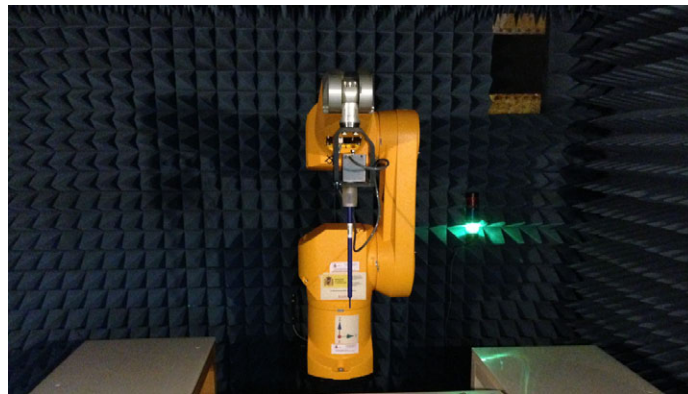


Figura 8: robot DASY4

3.7 Sujeción del terminal bajo test

Este dispositivo [4] se encarga de la sujeción del terminal bajo test mientras está en funcionamiento, manteniéndolo en la posición requerida por la norma para los ensayos SAR. Se pondrá bajo el fantoma para disponer el terminal en los lados del fantoma requerido. A

continuación se muestra cómo situar el terminal móvil en los lados del fantoma de cabeza según su posición y el dispositivo de sujeción:

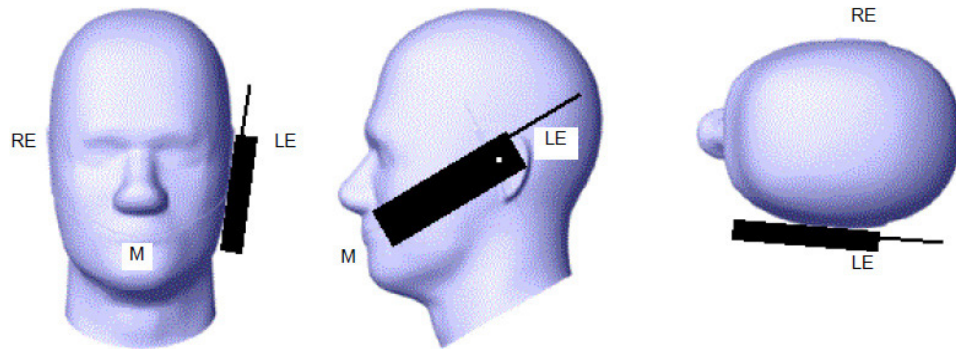


Figura 9: Disposición del terminal bajo test en uno de los lados del fantoma de cabeza en la posición cheek (tocando)

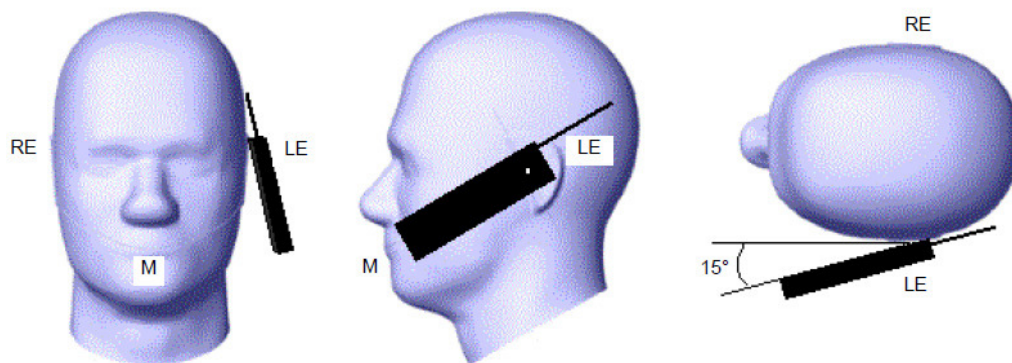


Figura 10: Disposición del terminal bajo test en uno de los lados del fantoma de cabeza en la posición tilt (inclinado)



Figura 11: Dispositivo de sujeción del terminal

3.8 Elementos para la realización de la comprobación y validación del sistema

La comprobación del sistema [4] trata de verificar que el sistema opera dentro de las especificaciones del propio sistema. Se busca detectar una posible desviación o incertidumbre a corto plazo en el sistema como:

- Cambios en los parámetros del líquido debido a evaporación del agua o cambios en la temperatura.
- Fallos de los componentes.
- Desviación de los componentes.
- Incertidumbres debido a parámetros del software o del set-up.
- Condiciones adversas en el sistema.

Para esto se hace una medida SAR media de 1g y/o 10g para una fuente estándar, un dipolo de referencia que deberá estar situado en el centro de la elipse del fantoma plano. La distancia entre la superficie inferior del fantoma y el centro del dipolo debe ser especificada para cada frecuencia, con una tolerancia de $\pm 0,2$ mm.

Este mismo procedimiento será llevado a cabo para la validación del sistema, que trata de comprobar que el sistema verifica los valores de referencia SAR de la norma con la que se esté trabajando. Para frecuencias entre 300 MHz y 1 GHz la distancia entre la parte inferior del fantoma plano y el centro del dipolo de referencia es de $15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, y de 1 GHz a 3 GHz la distancia será de $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$.

Los brazos del dipolo deberán estar paralelos a la superficie del fantoma con una tolerancia de 2° ó menos.

También para la validación se tendrá que hacer una medida SAR media de 1g y 10g. Tanto en la normativa europea como en la americana, se deberán cumplir que los niveles obtenidos en los ensayos de comprobación estén por debajo del límite establecido para cada frecuencia y para una potencia normalizada de 1 W (Watio). A continuación se muestran los valores de SAR referencia:

Frecuencia MHz	1 g SAR W/kg	10 g SAR W/kg
1	2	3
300	3,0	2,0
450	4,9	3,3
835	9,5	6,2
900	10,8	6,9
1 450	29,0	16,0
1 800	38,1	19,8
1 900	39,7	20,5
1 950	40,5	20,9
2 000	41,1	21,1
2 450	52,4	24,0
3 000	63,8	25,7
Todos los valores están normalizados a una potencia de 1 W.		

Tabla 6: Valores numéricos de referencia SAR para dipolos de referencia y fantoma plano

Además del dipolo de referencia, también usaremos:

- Generador de señal con pasos de 0,01 dB en la potencia de salida.
- Amplificador (ya que al generador de señal debía tener un nivel cercano a los 0 dBm).
- Filtro paso bajo (si el amplificador está trabajando cerca de la zona de saturación).
- Acoplador direccional de -20 dB en los puertos de salida.
- Dos medidores de potencia con poco rizado en la medida y resolución de 0,01 dB para ir evaluando los niveles de potencia que deseamos en el dipolo de referencia.
- Atenuador a la entrada de 10 dB.
- Cable para la conexión del dipolo y su conector.

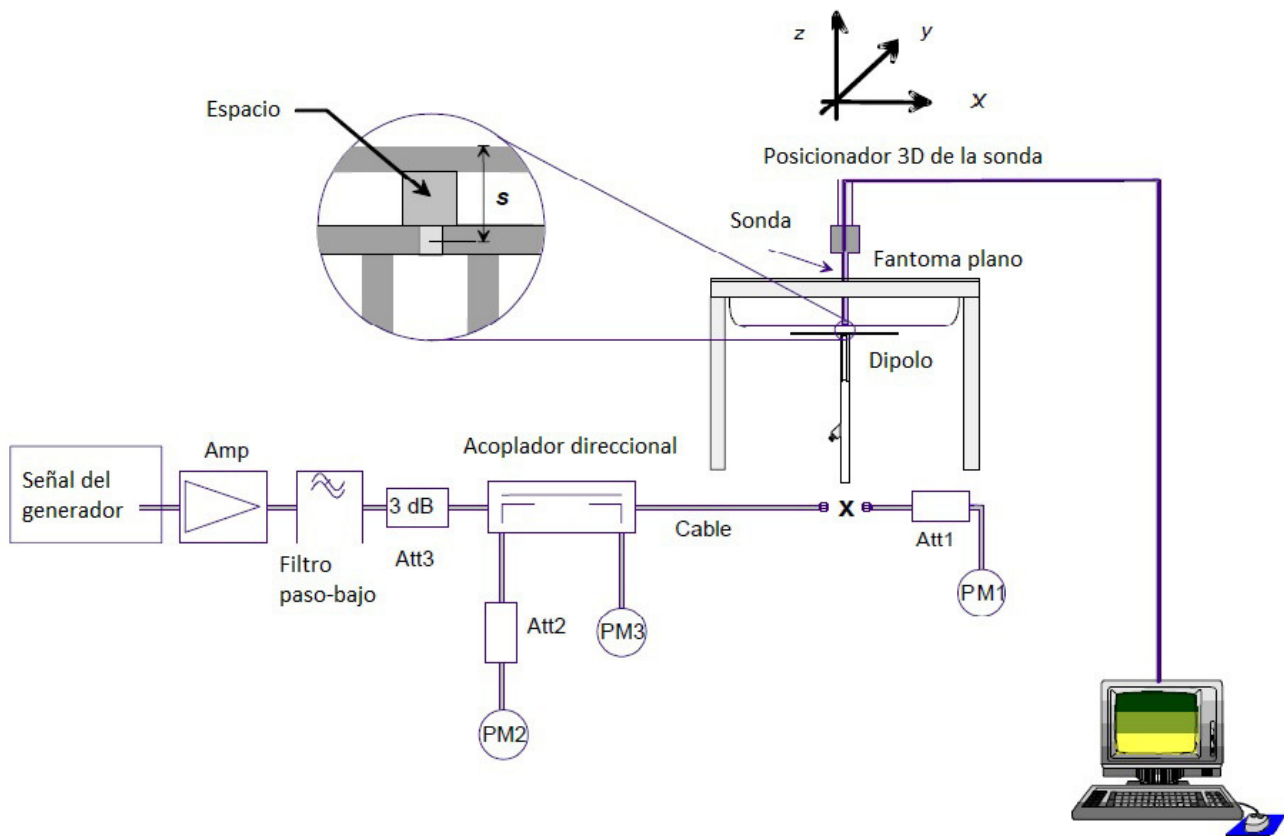


Figura 12: Configuración del sistema de chequeo y validación

3.9 Incertidumbre del fantoma y del líquido de simulación de tejido

En todo tipo de ensayos, al realizar una medida, nunca será exacta a un objetivo a conseguir, ni si se vuelve a realizar el mismo ensayo saldrán los mismos valores. Esto se da en gran medida debido a la incertidumbre, que es definida como un error estimado dado por un factor en una medición realizada. Esta tarea requiere de gran nivel y conocimiento especial en ingeniería. Sin embargo, para facilitar esta tarea, en las normativas se ofrecen pautas y fórmulas de aproximación para realizar una estimación de cada componente individual de incertidumbre.

Si las medidas se han realizado en un buen ambiente, y cuidando que todos los componentes del sistema estuvieran correctos, la incertidumbre obtenida por el sistema de medida suele ser muy parecida entre unos ensayos y otros, por lo que no se le dará mucha importancia. De igual manera pasa con la incertidumbre obtenida por las muestras obtenidas durante el test, ya que la variación de unas incertidumbres a otras en distintos ensayos puede ser insignificante.

La mayor incertidumbre a tener en cuenta sin lugar a dudas es la de los parámetros dieléctricos del líquido y en menor medida la del fantoma. Esto es así debido a que los líquidos con el paso del tiempo pueden sufrir deterioro en sus parámetros, por cambios en la temperatura y también por la evaporación del propio líquido. Será por ello que se debe realizar un estudio de los parámetros dieléctricos al calibrar y validar los líquidos y ver qué incertidumbre se tiene debido a ello.

La incertidumbre del fantoma vendrá dada dependiendo del tipo de fantoma que se esté utilizando para las mediciones, ya sea fantoma plano o un SAM u otro. Aunque todos los fantasmas tienen las mismas características, en general los fantasmas también son fuente de incertidumbre a tener en cuenta por estar en contacto con el líquido. Los parámetros que aportarán incertidumbre en el fantoma son la forma y el espesor.

Tanto en la normativa europea como la americana, la tolerancia de la incertidumbre de los parámetros dieléctricos (permitividad relativa y conductividad) no puede sobrepasar el $\pm 5\%$. Para el cálculo de la incertidumbre en los líquidos se tiene en cuenta que la función de distribución es rectangular. La tolerancia de la incertidumbre en el caso del fantoma no puede sobrepasar el $\pm 4\%$. Su función de distribución es también rectangular.

A continuación se muestra un ejemplo de tabla de incertidumbres para un test SAR [4]:

Fuente de incertidumbre	Tolerancia/ Incertidumbre $\pm\%$	Distribución de probabilidad	Div.	ci (1 g)	ci (10g)	Incertidumbre estándar $\pm\%$, (1 g)	Incertidumbre estándar $\pm\%$, (10 g)
Sist. medida							
Calibración sonda	$\pm 6,55$	N	1	1	1	$\pm 6,55$	$\pm 6,55$
Isotropía	$\pm 7,15$	R	1,73	1	1	$\pm 2,7$	$\pm 2,7$
Efecto frontera	$\pm 1,0$	R	1,73	1	1	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$
Linealidad	$\pm 4,7$	R	1,73	1	1	$\pm 2,7$	$\pm 2,7$
Límites detección	$\pm 1,0$	R	1,73	1	1	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$
Electrónica readout	$\pm 0,3$	N	1	1	1	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
Tiempo respuesta	0	R	1,73	1	1	0	0
Tiempo integración	0	R	1,73	1	1	0	0
Ruido ambiente RF	$\pm 1,0$	R	1,73	1	1	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$
Reflexiones ambiente RF	$\pm 1,0$	R	1,73	1	1	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$
Posicionador sonda mecánica	$\pm 0,8$	R	1,73	1	1	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Posic. sonda	$\pm 6,7$	R	1,73	1	1	$\pm 3,9$	$\pm 3,9$

superficie fantoma							
Post-procesamiento	±2,0	R	1,73	1	1	±1,2	±1,2
Muestra de ensayos					1		
Posic. muestra ensayada	±5,5	N	1	1	1	±3,2	±3,2
Incertidumbre soporte dispositivo	±2,0	N	1	1	1	±1,2	±1,2
Deriva de potencia de salida	±3,4	R	1,73	1	1	±2,0	±2,0
Fantoma y configuración					1		
Inc. Fantoma (forma y espesor)	±4,0	R	1,73	1	1	±2,3	±2,3
Conductividad líquido (objetivo)	±5	R	1,73	0,64	0,43	±1,7	±1,24
Conductividad líquido (medida)		N	1	0,64	0,43		
Permitividad líquido (objetivo)	±5	R	1,73	0,6	0,49	±1,7	±1,24
Permitividad líquido (medida)		N	1	0,6	0,49		
Inc. Estándar combinada	$Inc_{e_comb} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \times Inc_i^2}$						
Inc. expandida	Inc _{exp} =1,96 x Inc _{e_comb}						

Tabla 7: Tabla de incertidumbres en el sistema sin la de los líquidos

3.9.1 Incertidumbre de los parámetros dieléctricos del líquido

Como se dijo en el apartado 3.9, se tendrá que realizar una calibración de los líquidos para obtener los valores de los parámetros dieléctricos de estos. Esto se lleva a cabo mediante un analizador vectorial de redes y un kit de calibración para líquidos (con su software para evaluarlo). Tras evaluar los parámetros, se debe comprobar si sus valores están dentro del rango permitido por la norma 62209 [4]. Como seguramente por el paso del tiempo, variación de temperatura y evaporación, estos parámetros habrán cambiado, y serán distintos a los valores ideales, se tendrá en cuenta que este es un error que se comete en las medidas, y estará produciendo una incertidumbre. Esta incertidumbre se calcula de la siguiente manera (ecuaciones 4 y 5):

$$\varepsilon'_r \text{ tolerancia}(\%) = 100 \times \left| \frac{\varepsilon'_r \text{ medida} - \varepsilon'_r \text{ referencia}}{\varepsilon'_r \text{ referencia}} \right| \quad (4)$$

donde ε'_r medida es la permitividad relativa que hemos obtenido en la calibración y validación del líquido, ε'_r referencia es la permitividad relativa ideal que nos dicta la norma para dicho líquido.

$$\sigma \text{ _ tolerancia}(\%) = 100 \times \left| \frac{\sigma \text{ _ medida} - \sigma \text{ _ referencia}}{\sigma \text{ _ referencia}} \right| \quad (5)$$

donde σ medida es la conductividad obtenida a partir de la calibración y validación del líquido, σ referencia es la conductividad ideal que nos dicta la norma para dicho líquido.

Estos parámetros pueden variar de manera importante al realizar la calibración de los líquidos, ya que es un sistema bastante sensible a variaciones en su entorno. Dependiendo de si la temperatura ambiente es muy distinta a la del líquido y si no está dentro del rango permitido del líquido tendremos una incertidumbre en la medida.

Otra adición de incertidumbre para esto es realizar un movimiento brusco del cable de la sonda utilizada para la calibración.

Todo esto hará que los parámetros que se obtengan no sean exactamente los del líquido que está en el fantoma (a pesar de que la muestra para la calibración se ha tomado de ese líquido también).

3.9.2 Incertidumbre del fantoma

La incertidumbre del fantoma se define como la incertidumbre de la SAR espacial media de pico inducida debido a las tolerancias del fantoma en su producción y también a las incertidumbres de los parámetros dieléctricos del líquido equivalente de tejido dentro del fantoma. La tolerancia de la producción del fantoma incluye:

- Desviaciones de la forma interna y externa de la superficie del fantoma con respecto a las definidas por los ficheros CAD usados por la norma.

- Desviaciones en el espesor de la superficie del fantoma con respecto a la definida en el fichero CAD de la norma.

La incertidumbre se estimará acorde con el peor caso dependiente de la SAR a una cierta distancia de una fuente. Se podrá calcular de la siguiente manera (ecuaciones 6 y 7):

$$SAR_incertidumbre(\%) = 100 \times \left(\frac{(a + d)^2}{a^2} - 1 \right) \quad (6)$$

$$SAR_incertidumbre(\%) = 100 \times \frac{2d}{a} \quad \text{si } d \ll a \quad (7)$$

donde $a = 10$ mm de distancia entre el líquido equivalente de tejido de cabeza y la situación de la fuente equivalente de densidad de corriente y d es la máxima tolerancia del espesor de la superficie y forma del fantoma.

Procedimiento para medidas en espacio libre

4. Procedimiento previo para la realización de medidas en espacio libre en terminales móviles

Estas mediciones se han hecho tras haber comprendido el banco SAR, su sistema de adquisición de datos y haber leído gran parte del manual del DASY52.8. Su objetivo, aparte del de inicializarse en las mediciones SAR y el uso del banco SAR, sirven para una visualización de cómo radia el terminal móvil en el espacio libre y compararlo posteriormente (mediante el software de evaluación SEMCAD X) con el diagrama de radiación obtenido realizando medidas con el líquido de simulación de tejido humano de por medio.

El siguiente procedimiento se ha construido a partir del utilizado para el sistema DASY según la norma 62209:

Pasos para la realización de medidas previas de campo Eléctrico y Magnético en terminales móviles utilizando el sistema DASY5

COMPROBACIÓN DEL EQUIPAMIENTO PARA LA MEDIDA EN CUESTIÓN

1º.- Elección de la sonda que más se ajuste a nuestras exigencias en la medida en espacio libre. Para establecer la comunicación se elige el tipo de antena según el modo establecido en la medida GSM/UMTS.

2º.- Configurar el CMU 200 (*Universal Radio Communication Tester*, “Simulador de Estación Base”) para trabajar con GSM 900/1800/1900 ó UMTS según se requiera:

- Hacerlo de manera que los puertos utilizados como de E/S tengan en dB una ganancia acorde con una atenuación supuesta que tendríamos y con el tipo de medida a realizar.
- Transmitir mediante la Estación Base con la máxima potencia posible (BCCH y TCH para GSM y *Dowlink Power* para UMTS).
- Configurar la potencia máxima de la MS (*Mobile Station*, “Estación Móvil”): 30 dBm para GSM 1800/1900, 33 dBm para GSM 900 (PCL (*Power Control Level*) de 0 y 5 respectivamente) y 24 dBm para UMTS.

- Para GSM configurar el TCH *Channel* como el central:
 - o GSM 900 en el canal 62 (947.4 MHz)
 - o GSM 1800 en el canal 698 (1842.4 MHz)
 - o GSM 1900 en el canal 661 (1960 MHz)
- Para UMTS configurar los canales como:
 - o *Downlink* en el canal 10700 (2140 MHz)
 - o *Uplink* en el canal 9750 (1950 MHz)

3°.- El montaje de las medidas en este caso sería:

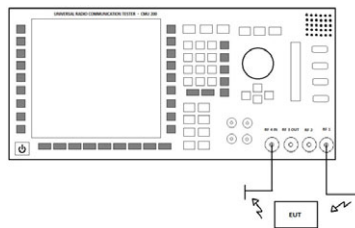


Figura 13: Simulador de Estación Base con sus puertos RF 4 IN con dipolo en recepción y RF 1 (modo OUT ya que es bidireccional) con dipolo para transmisión

ENCENDIDO DEL SISTEMA

- 1°.- Arranque del PC principal.
- 2°.- Abrir el programa DASY 52.8.
- 3°.- Encendido del controlador del robot.
- 4°.- Montar el DAE con baterías de carga suficiente y con la sonda requerida para las medidas (de campo Eléctrico o Magnético según se requiera).
- 5°.- Encender el DAE.
- 6°.- Activar el robot (la luz del robot dentro de la cámara deberá pasar de estado verde a rojo).
- 7°.- Alinear la sonda de medida.
- 8°.- Si es necesario, buscar la sonda de medida que tenga una calibración más actualizada e instalarla antes del paso 7.

MEDIDAS DE CAMPO (ESPACIO LIBRE)

1º.- Conectar la entrada del CMU 200 en “RF4 IN” y salida en “RF1” (ésta es bidireccional) para funcionar como Estación Base.

2º.- Abrir un archivo .da53 para poder editar las configuraciones y realizar las medidas.

3º.- Verificar Status del *SetUp* (indicadores) que deberán estar todos en verde (salvo los que no se usen que estarán en blanco).

4º.- Se tomarán las mediciones del largo, anchura y altura del terminal móvil desde un extremo a otro en las 3 medidas (si el terminal no tiene una forma homogénea del todo, tomaremos siempre la medida máxima en largo, anchura y/o altura cuando sea necesario) y se editarán las medidas del EUT en la propiedades del proyecto DASY:

- Si tiene antena visible, se medirá también con una regla y se pondrá, en caso contrario, para que no salga se editará en el campo *Antenna height* con un cero.
- La distancia A-B se podrá poner como se desee en el terminal, siendo la más común tomando como referencia de A, el altavoz situado en la parte superior del terminal y B la parte de abajo del terminal.

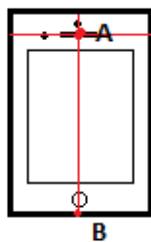


Figura 14: Distancia A-B en un terminal ejemplo

5º.- Comprobar que las propiedades del medio (Espacio libre) son las correctas:

- Permitividad relativa = 1
- Conductividad = 0 (S/m)

6º.- Comprobar que las secciones del fantoma (se considera como una selección de coordenadas que definen las áreas de medidas a tener en cuenta y los movimientos del robot de control), en espacio libre en este caso, son las que deseamos.

7º.- Configuración de las medidas que tomaremos:

- *Power Reference Measurement* (V/m): Monitoriza la potencia en el proceso, en una posición especificada de referencia. Se hará sobre un *User point* (punto elegido por el usuario para situar la sonda en un lugar determinado) editado por el usuario (no nos importará el lugar de la medida, ya que sólo queremos una referencia de potencia) o por una *Current Location*, ya que hay terminales que para estar bien sujetos sobresaldrán algo por su parte de arriba o de abajo (dependiendo del terminal en cuestión).

- *Generic Scan*: Se definirá una rejilla rectangular de 2-D o 3-D. Mediante un offset podremos situarla en el sitio que necesitemos para las medidas. Podremos obtener medidas de campo y/o campo interpolado (no mide SAR por supuesto ya que estaremos utilizando una sonda de espacio libre).

Nuestro criterio será libre siempre y cuando sea lo suficientemente mayor la rejilla que las dimensiones del terminal para poder realizar una medida óptima y no perder información de radiación en algún punto del terminal.

- *Power Drift Measurement (V/m)*: Mide el campo en la misma posición en la que se nos dio anteriormente una potencia de referencia (*Power Reference Measurement*). Nos muestra la diferencia en dB.
- Para facilidad de las medidas, SIEMPRE se realizarán las medidas de *Power Reference Measurement* y *Power Drift Measurement* en el punto A del terminal móvil (sea el punto A definido como el punto donde se sitúa el altavoz superior donde se escucha).

8°.- Realización de una conexión entre la Estación Base y el terminal móvil a modo de hacerlo funcionar acorde con el sistema requerido y mediante una tarjeta SIM de prueba.

9°.- Chequeo de las medidas a realizar (si hay algún error durante el chequeo, resolverlo) y si todo está correcto, posterior ejecución de las medidas.

10°.- Observar dónde se produce el máximo de campo, y repetir desde el punto 7 (para mayor exactitud) en el área del mayor máximo de la medida.

11°.- Observar durante el proceso si ha habido alguna caída o desincronización del sistema. En tal caso, realizar un *reset* a la medida y volver a hacerla desde el punto debido.

12°.- Realizar todo desde el punto 7 en la forma *down* (con la pantalla del terminal boca abajo) si anteriormente se hizo en *up* (con la pantalla del terminal hacia arriba) y viceversa.

13°.- Realizar fotografías del montaje en *up* y en *down*, teniendo la sonda de medida en la posición de la *Power Reference Measurement* y estando libre de la sonda.

14°.- En el caso de obtener *Warnings* (se obtendrán principalmente porque la calibración de la sonda sobrepasa un máximo de sensibilidad, ya sea en el eje X, Y o Z). se dará el ensayo por bueno, ya que a pesar de esa advertencia, las medidas siguen haciéndose sin ningún problema.

15°.- Guardar el archivo da.53 en su correspondiente carpeta.

OBTENCIÓN DE LOS INFORMES

- 1º.- Abrir el SEMCAD X para la obtención de los resultados de campo y sacar gráficas (HTML).
- 2º.- Buscar el nivel máximo de campo:
 - Definir una buena escala para la visión en *up/down*.
 - Visualizar la *slice Z* más próxima al terminal (será la que mayor nivel registre).
- 3º.- Generar el *report* (informe) correspondiente al *up* entera y a su *up2* (con la pantalla del terminal hacia arriba centrándonos en el punto donde tengamos el mayor nivel de campo).
- 4º.- Realizar lo mismo que en el punto 3 para el *down* y el *down2* (con la pantalla del terminal hacia abajo centrándonos en el punto donde tengamos el mayor nivel de campo).

APAGADO Y RECOGIDA DE INSTRUMENTACIÓN

- 1º.- Desconexión del dipolo utilizado para transmisión de los datos del terminal.
- 2º.- Apagar el Robot mediante el software DASY.
- 3º.- Apagar el DAE (se mantendrá pulsado durante 3 segundos).
- 4º.- Cerrar y salir del software DASY.
- 5º.- Apagar el controlador del robot mediante el conmutador del Rack.
- 6º.- Apagar el CMU 200 (se guardará por defecto la configuración usada en última instancia).

Procedimiento para medidas de SAR en terminales móviles

5. Procedimiento para medidas de SAR en terminales móviles

Las pautas o protocolos para la realización de medidas SAR [4] son una serie de pasos concretos a seguir haciendo uso de los líquidos de simulación de tejido humano (vertiéndolos en el fantoma y comprobando sus características dieléctricas). Se encenderá, ajustará y validará el sistema de medida con el banco SAR para posteriormente realizar las medidas SAR pertinentes. Tras todo ello, se realiza el apagado del sistema, recogida de materiales y limpieza de la sonda.

5.1 Vertido de líquidos

Antes de empezar, se comprobará si el fantoma a utilizar está limpio; en caso contrario, limpiarlo con uso de abundante agua. Se verterá el líquido requerido de las tres garrafas en el fantoma con cuidado de no derramar nada y usando guantes de látex.

Por último se removerá el líquido con una espátula para eliminar el máximo número de burbujas, ya que éstas cambiarán los parámetros dieléctricos del líquido (será bueno dejarlo reposar un día tras su vertido). Deberá estar 3 ó 4 cm por debajo del borde superior del fantoma con una profundidad de más de 15 cm.

5.2 Validación de líquidos

La validación se hará comprobando que los parámetros dieléctricos del líquido (permitividad relativa y conductividad) a medir están dentro del rango permitido por la norma. Mediante el PC HP Vectra VL 800 y el analizador de redes N5242A de Agilent Technologies podremos hacer uso de tres métodos distintos para la calibración y validación (cada uno usando un recipiente del líquido distinto):

- Método de la línea ranurada.
- Método de la sonda de contacto.
- Método de la línea TEM.

Sin embargo, sólo se hará uso de la sonda de contacto, ya que es lo que hay disponible en el laboratorio.

Las sondas de contacto son secciones de línea de transmisión coaxial abiertas, normalmente tienen en el extremo una ventana sin pérdidas, adaptada en impedancia y un plano de tierra. Las medidas se hacen posicionando la sonda en contacto con la muestra y midiendo la admitancia o coeficiente de reflexión con respecto al extremo en circuito abierto, usando un analizador de redes o instrumentación equivalente.



Figura 15: Contenedor no metálico usado para la calibración de líquidos

La muestra del líquido se introduce en un contenedor no metálico de tamaño adecuado (Figura 15). Los procedimientos de la prueba deben especificar la calibración y configuración del analizador de redes para el rango de frecuencias requerido. El software de aplicación debe interpretar los datos medidos para comprobar las propiedades dieléctricas de la muestra en función de la frecuencia. Para usar esta técnica, se tiene que desarrollar una sonda y un paquete software para el analizador de redes u obtenerlo de un distribuidor comercial. La metodología debe especificar el tamaño de la sonda y el rango de frecuencia aplicable.

Se usan coordenadas cilíndricas donde ρ es la distancia radial desde el eje, ϕ es el desplazamiento angular alrededor del eje y z es el desplazamiento a lo largo del eje. a es el radio del conductor interno y b es el radio interno del conductor exterior.

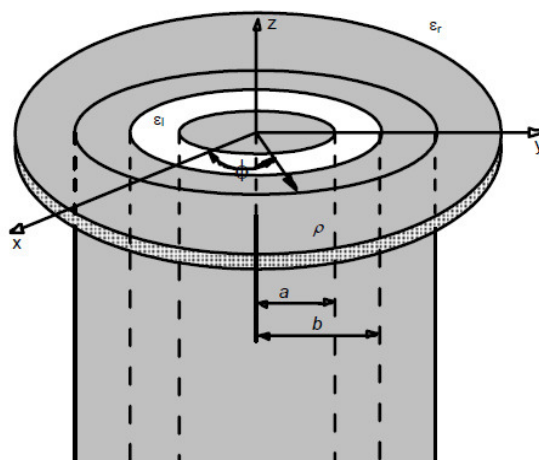


Figura 16: Sonda coaxial terminada en un abierto con las coordenadas cilíndricas y los radios

El contenedor de la muestra debe ser no metálico, grande en comparación con el tamaño de la sonda inmersa en él. Se usará una sonda con un diámetro exterior de 2 mm a 4 mm, adecuada para la medida de líquidos de tejido equivalente para el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. Este tamaño de la sonda se corresponde con volúmenes de muestra de 50 cc o mayor. Sondas con diámetro exterior b superiores a 7 mm pueden usarse con volúmenes de muestra mayores. Una pestaña es incluida típicamente para representar bien la suposición de plano de tierra infinito haciendo uso de cálculos de admitancia.

La precisión de la medida de cortocircuito debe verificarse para cada calibración en varias frecuencias. Un cortocircuito puede conseguirse presionando una pieza de papel de aluminio contra el extremo abierto. Para un mejor contacto eléctrico, el extremo de la sonda debe ser plano y libre de oxidación. Es posible obtener un mejor contacto con alguna sonda comercial de 4,6 mm usando el cortocircuito de metal proporcionado con el equipo.

Pueden ocurrir errores de medida debido a las resonancias de la pestaña cuando su diámetro es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda del medio dieléctrico. Tales efectos son más pronunciados para líquidos de alta permitividad que tienen una tangente de pérdidas menor que 0,25 (a las frecuencias de teléfonos móviles estos incluyen agua, metanol y sulfuro de dimetil). Por consiguiente, la calibración con un líquido de tangente de pérdidas alta es recomendada como etanol. Podría haber problemas calibrando los sensores coaxiales con pestañas de 7 mm con agua para algunas frecuencias. Los líquidos de tejido simulado tienen una tangente de pérdidas de 0,5 aproximadamente, la cual es suficientemente grande para asegurar que los efectos de resonancia son prácticamente despreciables sin importar el tamaño del sensor usado.

El analizador de redes se configura para medir la magnitud y fase de la admitancia. Se realiza una calibración del puerto uno en cuanto a reflexión en el plano de la sonda poniendo los líquidos para lo que el coeficiente de reflexión puede ser calculado en contacto con la sonda. Se necesitan tres reglas para la calibración; un cortocircuito, aire y agua desionizada para una temperatura definida (para la calibración podrán usarse también otro tipo de líquidos como metanol o etanol). La calibración es una parte clave del procedimiento de medida, y es por lo tanto importante asegurar que se ha realizado correctamente. Puede comprobarse midiendo de nuevo el cortocircuito para asegurar que el coeficiente de reflexión es de $\Gamma = -1,0$ (en unidades lineales).

Las pautas a seguir antes de iniciar el procedimiento de calibración y verificación del líquido es:

- Comprobar que la sonda de medida está limpia y a temperatura ambiente.
- Asegurarse de que no hay burbujas de aire en el líquido bajo la sonda.
- Realizar una medida inicial con un líquido de referencia (en este caso el agua desionizada) para comprobar que la calibración está hecha correctamente.
- Anotar la temperatura de la muestra y propiedades dieléctricas aplicables a esta temperatura.

El procedimiento de medida es el siguiente:

- a) Configurar y calibrar el analizador de redes y el sistema de la sonda.
- b) Situar la muestra en un contenedor no metálico y sumergir la sonda. Se recomienda que exista algún tipo de sujeción para estabilizar la sonda, montada tal que la cara de la sonda esté en un ángulo con respecto a la superficie del líquido para minimizar las burbujas de aire atrapadas bajo la pestaña.
- c) Medir la admitancia compleja con respecto a la abertura de la sonda.
- d) Calcular la permitividad relativa compleja $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\sigma/\omega\epsilon_0$, por ejemplo de la ecuación 8:

$$Y = \frac{j2\omega\epsilon_r'\epsilon_0}{[\ln(b/a)]^2} \int_a^b \int_a^b \int_0^\pi \cos\phi' \frac{\exp[-j\omega^2(\mu_0\epsilon_r'\epsilon_0)^{1/2}r]}{r} d\phi' d\rho' d\rho \quad (8)$$

donde Y es la admitancia de la sonda al contacto con la muestra, las coordenadas primas y no primas se refieren a la fuente y a los puntos de observación respectivamente, $r^2 = \rho^2 + \rho'^2 - 2\rho\rho'\cos\phi'$, ω es la frecuencia angular y $j = \sqrt{-1}$.

La última expresión puede calcularse numéricamente. La ecuación se resuelve usando el método Newton-Raphson u otras aproximaciones reiterativas. Se pueden usar otros métodos numéricos con tal de que las aplicaciones software hayan sido completamente probadas y verificadas por medio de las medidas de los líquidos de referencia. Los equipos comerciales de sondas coaxiales usan versiones de estas teorías y métodos.

5.3 Encendido del sistema

Encendiendo el ordenador principal Hp Compaq 8000, se abrirá el software DASY5 PRO y seguidamente se encenderá el controlador del robot DASY6. Tras ello también se encenderá el DAE del robot DASY4 (si hubiera problema con la batería habría que cambiarla) y comprobar que la sonda que queremos utilizar es la correcta y calibrada para las medidas a realizar.

Se alineará la sonda de medida (nunca hacerlo si la sonda está sumergida en el líquido ya que esto supondría derrames del líquido y por tanto ensuciamiento de parte del banco de SAR).

Para el fantoma utilizado (ns1146 ó ns1377) realizar la verificación de los puntos de referencia (P1, P2 y P3). Si estos puntos no coincidieran exactamente deberemos tratar de mover la mesa para que exista total coincidencia.

5.4 Ajuste del sistema para comprobación

El ajuste del sistema se deberá realizar conforme a la norma para dar por buena la posterior validación que realizaremos del sistema.

Se encenderá el equipo CMU 200 de Rohde & Schwarz conectando el cable requerido como salida en el puerto RF3 OUT y caracterizar al equipo para trabajar como generador (frecuencia y potencia que necesitamos). Con las correspondientes hojas de Excel proporcionadas por el Ministerio, rellenar los datos preliminares (tiempo de calentamiento, fecha y hora, tipo de sonda y de dipolo, temperatura y humedad inicial y final y frecuencia).

Tras ello realizar la calibración del medidor de potencia 6960A de Marconi Instruments (para obtener una potencia según la norma de 100 mW indicando el nivel de potencia de entrada en el

CMU). Y realizar los montajes A (Figura 17) y B (Figura 18) con sus correspondientes cables y conectores para la comprobación del sistema y completar la hoja Excel.

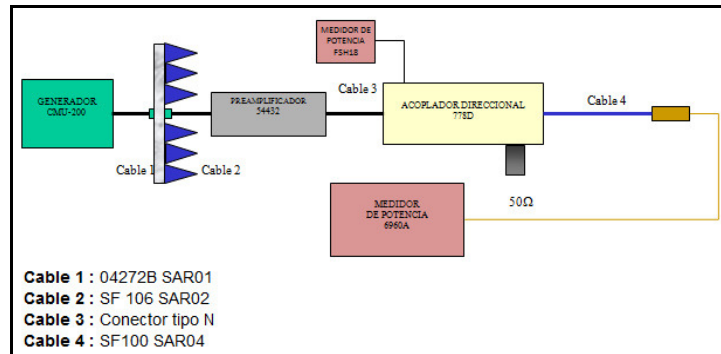


Figura 17: Montaje A para comprobación del sistema

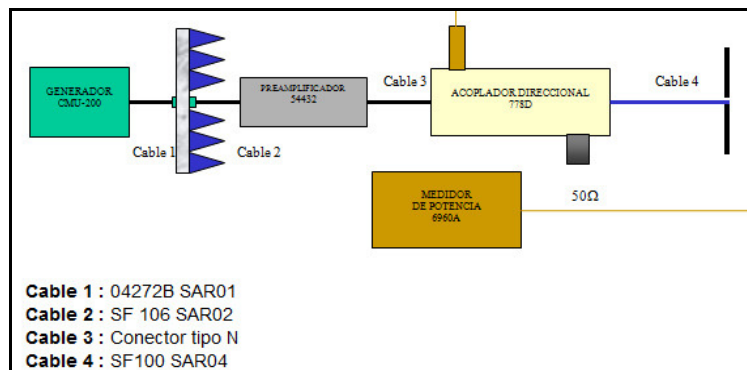


Figura 18: Montaje B para comprobación del sistema



Figura 19: Montaje A y Componentes para comprobación del sistema



Figura 20: Montaje B y componentes para comprobación del sistema (vista robot-fantoma)



Figura 21: Montaje B y Componentes para comprobación del sistema

5.5 Comprobación del sistema de medida

La comprobación es un protocolo que debe realizarse antes de iniciar ningún tipo de medida de SAR sobre dispositivo o terminal alguno. El objetivo es verificar el correcto funcionamiento del sistema de medida con sus elementos fundamentales.

Habrá que conectar para ello la antena de referencia que se usa (dipolo doblado de media onda) al CMU mediante el montaje B (tratando de mantener los 100 mW de potencia en el medidor) al conector RF3 OUT haciéndolo funcionar como generador a la frecuencia requerida. Cargar el archivo DASY en el software para las medidas y verificar que toda la configuración de los parámetros del DASY están correctos y todo funcionando bien (luces en verde en el software).

Se activará la emisión del CMU como generador y se realizará la medida SAR en la sección plana del fantoma (habrá que situar el dipolo justamente en la parte central donde hay una cruz, a una distancia del fantoma de 15 mm si estamos por debajo de 1 GHz y a 10 mm si la frecuencia es superior).

Las medidas llevadas a cabo serán las de *Power Reference Measurement* (para comprobar el campo eléctrico en un punto de referencia dado), *Area Scan* (se usa para buscar el área de mayor SAR para un escaneo de dos dimensiones, nos vendrá dado para 1g y 10g), *Zoom Scan* (escaneo usado para evaluar el valor de pico espacial de SAR dentro de un volumen cúbico promedio de 1g y 10g de tejido simulado) y *Power Drift Measurement* (mide el campo en la misma posición que la de *Power Reference Measurement*, pero nos proporciona la diferencia en dB para comprobar cómo ha cambiado el campo eléctrico en un mismo punto tras un periodo de funcionamiento del terminal).

Tras las medidas, mediante el software de evaluación SEMCAD X, se visualizarán los resultados y guardarán los resultados numéricos en el archivo Excel. Se cotejará si las comprobaciones son válidas (si no excedemos del $\pm 10\%$ permitido) y se guardará el archivo con un nombre que permita saber qué ensayo de comprobación era.

En el caso de no ser válida la comprobación (exceder del $\pm 10\%$), se tendrá en cuenta que será seguramente debido a la incertidumbre que se haya dado en el sistema (ya sea de los líquidos, del fantoma o de que el sistema necesite una validación). La validez se toma con los valores teóricos promediados sobre 1g y 10g que deberían obtenerse a distintas frecuencias si la fuente de referencia estuviera alimentada con una potencia de 1 W como ya se expuso en el apartado 3.8.

5.6 Medidas de SAR

Para las medidas SAR habrá que cambiar algunas cosas con respecto a la configuración que se llevó a cabo para realizar las medidas SAR en la comprobación del sistema.

El CMU en este caso habrá de estar configurado como estación base, para simular la estación base de la cual un terminal móvil recibiría la cobertura. Para ello se hará uso de los puertos RF2 (como entrada) y RF OUT (como salida) en la que usaremos para dar cobertura al terminal un dipolo con varillas extensibles como antena TX (transmisora) y el dipolo de referencia como antena RX (receptora).

Se configurará el tipo de sistema de comunicación (con sus propiedades) y el canal medio para la medida del ensayo. Habrá que comprobar que todos los componentes del software DASY funcionan correctamente y editarán las propiedades del líquido con los parámetros dieléctricos obtenidos en la calibración y verificación de éstos. Se configurarán las características y propiedades del EUT (nombre, tipo, número de serie y dimensiones del terminal como largo, ancho, alto y medida de la recta A-B explicada en el apartado 4). Guardar el archivo DASY del ensayo correspondiente comprobando que las dimensiones del terminal no superan el *grid* de medida del *Area Scan* para la medida, definiendo unas dimensiones mínimas del *Area Scan* y del *Zoom Scan* (ya que si no fuera así no mediríamos correctamente el campo eléctrico y la SAR en el terminal, o podría darse que tuviéramos un máximo en un *boundary* (límite) obteniendo un *bounday effect* (efecto límite) y especulando con la incertidumbre de este efecto):

	Dimensiones mínimas	Paso máximo
<i>Area Scan</i>	Definidas por el operador	20 mm
<i>Zoom Scan</i>	30x30x30	5 mm

Tabla 8: Dimensiones mínimas y paso máximo del *Area Scan* y *Zoom Scan*

En el *Area Scan* se determinará la posición del máximo de SAR, y por defecto cualquier máximo local secundario si en la medida del grid está por encima de -2 dB del valor del máximo obtenido en este procedimiento bidimensional.

El *Zoom Scan* proporcionará el máximo de SAR dado en un volumen centrado sobre el máximo interpolado de la anterior medida de *Area Scan*.

Al terminar de especificar cómo será cada procedimiento a seguir, situar el terminal móvil encendido con la tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*, Módulo de Identificación del

Suscriptor) de prueba SAR en el soporte de sujeción. Elegir el tipo de posición que tendrá el terminal para la medida del ensayo (lado izquierdo o derecho y tocando o inclinado 15°, posición e inclinación respectivamente).

Tras haber situado el terminal, enlazar con el simulador de estación base habiendo configurado:

- Elegir mínimo PCL (*Power Control Loop*, Control de Potencia) posible (máxima potencia) con el que transmitirá el terminal móvil.
 - PCL 5 (33 dBm) para 900 MHz.
 - PCL 0 (30 dBm) para 1800 y 1900 MHz.
- Elegir la banda correspondiente (900, 1800 ó 1900 MHz).
- Elegir el canal medio de la banda (62, 698 ó 661 respectivamente para cada banda).
- Cambiar la atenuación de RF para los puertos de salida y entrada del CMU (41 dB) en este caso.
- Para el caso de medidas en cabeza usar el modo de transmisión sólo Voz (conmutación de circuitos) en *single slot* (slot único, el central, el 3).
- Poner el nivel de BCCH (*Broadcast Control Channel*, Canal de Control de Difusión) y TCH (*Traffic Channel*, Canal de Tráfico) al máximo posible (en este caso -28 dBm) para conseguir la conexión entre el CMU y el EUT.

Tras el enlace, comprobar que éste se mantiene correctamente conectado para la realización del ensayo. Verificar que los procedimientos de prueba en el archivo DASY no ofrecen ningún error ni *warning* (aviso).

Tras la comprobación, se empezará a realizar el procedimiento de medida SAR realizando fotografías del montaje. Al comenzar cada medida, se tomarán notas en el Excel de la temperatura y humedad de la medida para comprobar que tras ésta, no haya variado desproporcionadamente.

Se harán las mediciones para las dos posiciones y las dos inclinaciones en el canal medio. Al terminar estas medidas, se tendrá en cuenta cuál de ellas ofrece un peor nivel de SAR (mayor SAR) para 1g; y para esa posición e inclinación, se realizarán los mismos procedimientos de medida para el canal bajo y alto de la banda en la que se esté trabajando. El ancho de banda de trabajo se define como la diferencia entre la frecuencia superior y la frecuencia inferior de la banda del sistema de comunicaciones utilizado; si este es mayor que el 1% de la frecuencia central de la banda de dicho sistema, únicamente bastará con realizar las medidas en los canales dichos anteriormente (medios, bajos y altos).

Sin embargo, si este ancho de banda fuera mayor del 10% de la frecuencia central, el número de canales a medir vendrá dado por la fórmula 9:

$$N^{\circ} \text{ canales} = 2 \times E \left[10 \times \frac{(f_{\text{sup}} - f_{\text{inf}})}{f_{\text{central}}} \right] + 1 \quad (9)$$

donde E es la función entera superior que redondea su argumento al siguiente entero mayor, el número de canales siempre será impar.

Habiendo comprobado que todas las medidas están por debajo de los límites permitidos y tienen una desviación menor del $\pm 5\%$, se guardará el fichero Excel con todos los datos extraídos de las medidas.

Al tener todas las medidas hechas en los archivos DASY para los distintos terminales, abrir el software de evaluación SEMCAD X, tomar los resultados de SAR obtenidos y sacar las gráficas en formato PDF y HTML editándolas para una buena visualización de los resultados.

Guardar los distintos resultados de los ensayos con un nombre específico para cada terminal.

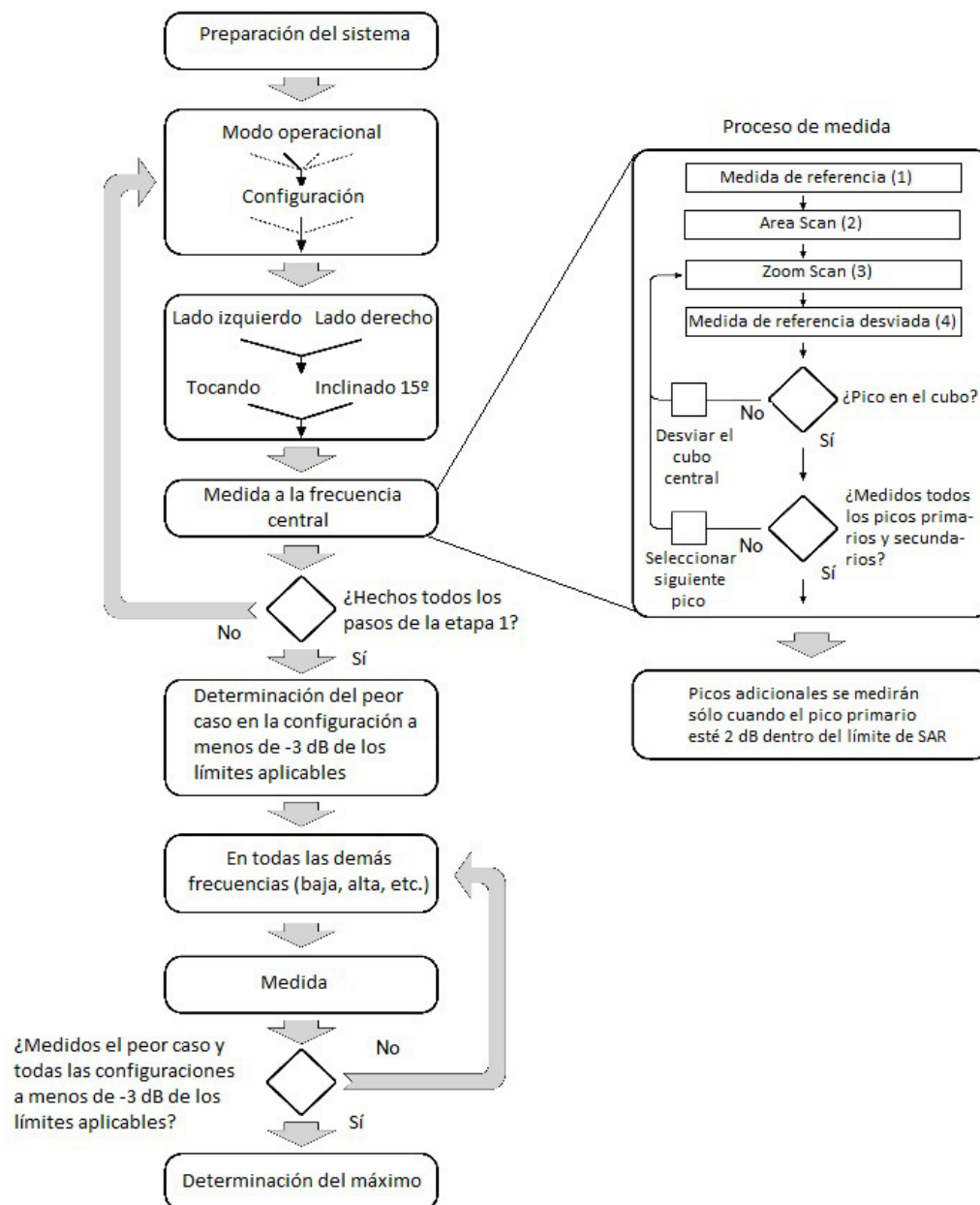


Figura 22: Diagrama de bloques del procedimiento de medida a llevar a cabo

5.7 Apagado, recogida de instrumentación y limpieza

Al ya haber terminado de realizar ensayos de SAR, lo primero será desconectar el dipolo doblado y guardarlo en su maletín. Mover la sonda a una posición segura (por ejemplo la (0,0,400) según los ejes x y z respectivamente) para poder limpiarla con agua abundante y poder extraerla en el caso de que no vayamos a usarla para ningún ensayo más; tapar el fantoma con su tabla protectora.

Se apagará seguidamente el robot mediante el software DASY con un apagado también del DAE (así evitar también el gasto innecesario de batería). Cerrar y salir del software DASY y apagar el controlador del robot mediante el conmutador del Rack y apagar el CMU 200.

Tras todo esto, si se va a seguir ensayando otro día, con todo esto basta, pero si ya se ha terminado de ensayar todo, seguir las instrucciones siguientes:

- Quitar la tabla protectora sobre el fantoma.
- Colocar una de las tres garrafas vacías en la salida de los líquidos del fantoma.
- Abrir el grifo del fantoma y verter el líquido hasta llenar la primera garrafa.
- Cerrar el grifo y repetir el mismo proceso para vaciar completamente el fantoma con las otras dos garrafas.
- Almacenar las tres garrafas con los tapones de seguridad en la habitación de los líquidos.
- Colocar el cubo de agua bajo el grifo y limpiar el interior del fantoma con agua abundante.
- Volver a colocar la tabla protectora sobre el fantoma.
- Dejar el grifo abierto y el fantoma completamente limpio y tapado.

Ensayos SAR en terminales móviles

6. Ensayos SAR en terminales móviles

En este apartado del proyecto se comentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados mediante el procedimiento indicado en el apartado anterior (apartado 5). Estos ensayos se han realizado únicamente en tres muestras distintas (dos terminales Samsung y un Sony Ericsson), por lo que no se podrán obtener unas conclusiones muy generales, pero sí una idea de qué podríamos encontrarnos buscando la comparativa entre las distintas bandas de frecuencias usadas en Europa y América con sus correspondientes normativas.

Las pautas a seguir en este apartado serán:

- Comprobación y validación de las propiedades dieléctricas de los líquidos de simulación, añadiendo la incertidumbre que estas dan a la medida.
- Comprobación del sistema de medida y su correcto funcionamiento (estará afectado por la incertidumbre de los líquidos).
- Se pondrá como ejemplo una medida en espacio libre del campo eléctrico de uno de los terminales con respecto a la medida del campo eléctrico estando el líquido que simula el tejido humano, así podremos comprobar las diferencias existentes y el cambio que hay en el diagrama de radiación.
- Medidas de la SAR en las distintas bandas de frecuencia con su comparativa (ambas para 1g y 10g). Se mostrará el resultado de la medida de SAR mediante una imagen del ensayo sobre 1g que peor SAR nos proporcione (como siempre será en el lado izquierdo y tocando donde obtengamos peor SAR, serán las imágenes que nos interesarán en los ensayos).
- Imágenes de los montajes para las comprobaciones, así como de los terminales.

6.1 Comprobación y validación de líquidos

La metodología a seguir para comprobar y validar las propiedades dieléctricas de los líquidos es la que se expuso en el apartado 5.2.

Para las frecuencias de 900, 1800 y 1900 MHz respectivamente los resultados han sido:

6.1.1 Comprobación del líquido de 900 MHz

Frecuencia (MHz)	Permitividad, ϵ'	Permitividad, ϵ''	Conductividad, σ
850	42,08	19,71	0,93
900	40,25	18,61	0,93
950	41,15	18,61	0,98

Tabla 9: Parámetros obtenidos del líquido de 900 MHz

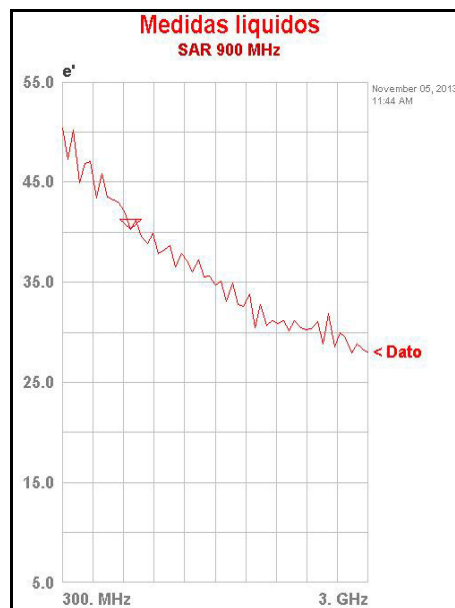


Figura 23: Gráfica de medida del líquido de 900 MHz

El líquido a 900 MHz presenta un ligero rizado en el rango de 300-3000 GHz debido a la incertidumbre asociada a la comprobación del líquido y a la de sus parámetros dieléctricos.

Frecuencia (900 MHz)	Permitividad relativa ϵ_r	Conductividad, σ
Objetivo	39,425 – 43,575 (41,5)	0,9215 – 1,0185 (0,97)
Medida	40,25	0,93
Cumple	SÍ	SÍ

Tabla 10: Cumplimiento del líquido de 900 MHz

La incertidumbre, calculada como se expuso en el apartado 3.9.1 es:

- Incertidumbre en permitividad realativa (%) = -3%
- Incertidumbre en conductividad (%) = -4,12%

Dando un total de incertidumbre estándar de 10,45% y 10,15% para 1g y 10g respectivamente. El total de incertidumbre extendida es de 20,48% y 19,9% en 1g y 10g.

6.1.2 Comprobación del líquido a 1800 y 1900 MHz

Se usó un líquido único para ambas frecuencias ya que, según el fabricante, era válido su uso para dicho rango.

Frecuencia (MHz)	Permitividad, ϵ'	Permitividad, ϵ''	Conductividad, σ
1750	39,77	13,75	1,34
1800	41,77	14,38	1,44
1850	39,61	14,33	1,47
1900	39,54	14,23	1,50
1950	40,78	14,41	1,56

Tabla 11: Parámetros obtenidos del líquido de 1800 y 1900 MHz

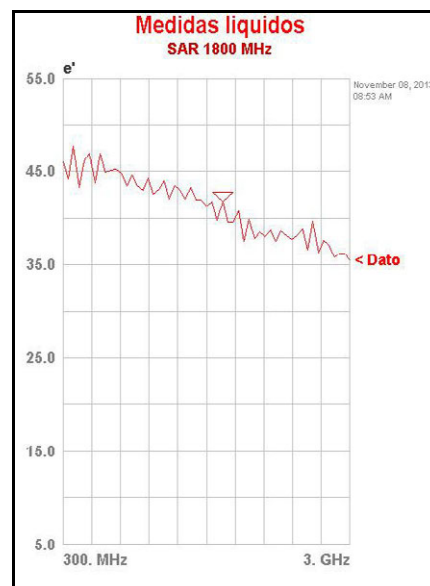


Figura 24: Gráfica de medida del líquido de 1800 y 1900 MHz

El líquido de 1800-1900 MHz también presenta un cierto rizado en el rango de 300-3000 GHz debido a la incertidumbre asociada a la comprobación del líquido y a la de sus parámetros dieléctricos.

Frecuencia (1800 y 1900 MHz)	Permitividad relativa ϵ_r	Conductividad, σ
Objetivo 1800 MHz	38 – 42 (40)	1,33 – 1,47 (1,40)
Medida 1800 MHz	41,77	1,44
Cumple 1800 MHz	SÍ	SÍ
Objetivo 1900 MHz	38 – 42 (40)	1,33 – 1,47 (1,40)
Medida 1900 MHz	39,54	1,50
Cumple 1900 MHz	SÍ	NO

Tabla 12: Cumplimiento del líquido de 1800 y 1900 MHz

En el caso de 1900 MHz, el no cumplir con la conductividad no incide más que en que se tendrá mayor incertidumbre para ese parámetro, ha sido problema de los líquidos y no se ha tratado de ajustar porque no era objetivo del presente proyecto.

La incertidumbre que proporcionan los parámetros se calcula como en el apartado 3.9.1:

- Incertidumbre en permitividad relativa (%) en 1800 MHz = 4,43%
- Incertidumbre en conductividad (%) en 1800 MHz = 2,86%
- Incertidumbre en permitividad relativa (%) en 1900 MHz = -1,15%
- Incertidumbre en conductividad (%) en 1900 MHz = 7,14%

Da un total de incertidumbre estándar de 10,46% y 10,26% (para 1g y 10g respectivamente) para 1800 MHz y 10,98% y 10,43% (para 1g y 10g respectivamente) para 1900 MHz. El total de incertidumbre extendida para 1800 MHz es de 20,5% y 20,11% y para 1900 MHz es de 21,52% y 20,44%.



Figura 25: Instrumental utilizado para la calibración de los líquidos de medida

6.2 Comprobación del sistema de medida

Para este apartado, la metodología a seguir ha sido la contada en los apartados 5.4 y 5.5.

6.2.1 Comprobación del sistema para 900 MHz

Date/Time: 05/11/2013 16:44:58

Test Laboratory: DGTI

Comprobacion 900 MHz

DUT: Dipole 900 MHz D900V2; Type: D900V2; Serial: D900V2 - SN:1d024

Communication System: UID 0, CW (0); Communication System Band: D900 (900.0 MHz);

Frequency: 900 MHz; Communication System PAR: 0 dB; PMF: 1

Medium parameters used: $f = 900$ MHz; $\sigma = 0.93$ S/m; $\epsilon_r = 40.25$; $\rho = 1000$ kg/m³

Phantom section: Flat Section

Measurement Standard: DASYS (IEEE/IEC/ANSI C63.19-2007)

DASY Configuration:

- Probe: ET3DV6 - SN1818; ConvF(5.71, 5.71, 5.71); Calibrated: 07/07/2010;
- Sensor-Surface: 4mm (Mechanical Surface Detection), $z = 2.7, 32.7$
- Electronics: DAE4 Sn678; Calibrated: 06/11/2012
- Phantom: SAM ns1377; Type: Twin Phantom; Serial: 1377
- DASYS2 52.8.7(1137); SEMCAD X 14.6.10(7164)

Area Scan (61x61x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 1.07 W/kg

Zoom Scan (7x7x7) (31x31x36)/Cube 0: Interpolated grid: $dx=1.000$ mm, $dy=1.000$ mm, $dz=1.000$ mm

Reference Value = 34.822 V/m; Power Drift = 0.01 dB

Maximum value of SAR (interpolated) = 1.51 W/kg

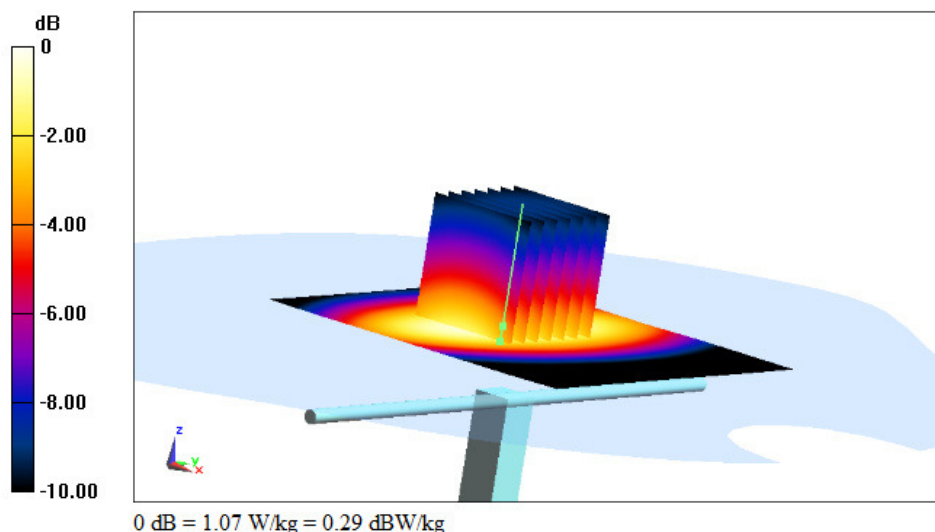


Figura 26: Valor de SAR medido para la comprobación de 900 MHz

	SAR medido (mW/g)	SAR medido norm. 1W (mW/g)	SAR ref. norm. 1W (mW/g)	Desviación (%)	Válido
SAR 1g	1	9,81	10,80	-9,13	SÍ
SAR 10g	0,642	6.30	6,90	-8,69	SÍ

Tabla 13: Medidas y comprobación del sistema para 900 MHz

6.2.2 Comprobación del sistema para 1800 MHz

Date/Time: 11/11/2013 10:27:09

Test Laboratory: DGTII

Comprobacion 1800 MHz

DUT: Dipole 1800 MHz D1800V2; Type: D1800V2; Serial: D1800V2 - SN:2d118

Communication System: UID 0, CW (0); Communication System Band: D1800 (1800.0 MHz);

Frequency: 1800 MHz; Communication System PAR: 0 dB; PMF: 1

Medium parameters used: $f = 1800$ MHz; $\sigma = 1.44$ S/m; $\epsilon_r = 41.77$; $\rho = 1000$ kg/m³

Phantom section: Flat Section

Measurement Standard: DASY5 (IEEE/IEC/ANSI C63.19-2007)

DASY Configuration:

- Probe: ET3DV6 - SN1818; ConvF(4.88, 4.88, 4.88); Calibrated: 07/07/2010;
- Sensor-Surface: 4mm (Mechanical Surface Detection), $z = 2.7, 32.7$
- Electronics: DAE4 Sn678; Calibrated: 06/11/2012
- Phantom: SAM ns1146; Type: Twin Phantom; Serial: 1146
- DASY52 52.8.7(1137); SEMCAD X 14.6.10(7164)

Area Scan (61x61x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 3.84 W/kg

Zoom Scan (7x7x7) (31x31x36)/Cube 0: Interpolated grid: $dx=1.000$ mm, $dy=1.000$ mm, $dz=1.000$ mm

Reference Value = 53.563 V/m; Power Drift = 0.03 dB

Maximum value of SAR (interpolated) = 5.71 W/kg

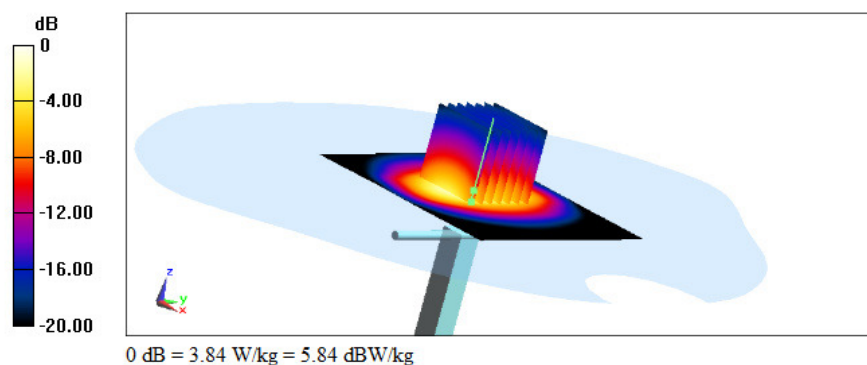


Figura 27: Valor de SAR medido para la comprobación de 1800 MHz

	SAR medido (mW/g)	SAR medido norm. 1W (mW/g)	SAR ref. norm. 1W (mW/g)	Desviación (%)	Válido
SAR 1g	3,25	32,50	38,10	-14,70	NO
SAR 10g	1,69	16,90	19,80	-14,65	NO

Tabla 14: Medidas y comprobación del sistema para 1800 MHz

La no validez de la comprobación del sistema para 1800 MHz se ha debido posiblemente a la incertidumbre dada por la colocación del dipolo de referencia, a la incertidumbre por el líquido de medida. La máxima desviación de 10% se ha sobrepasado en 4,70 y 4,65% en 1g y 10g respectivamente.

6.2.3 Comprobación del sistema para 1900 MHz

Date/Time: 11/11/2013 11:38:02

Test Laboratory: DGTI

Comprobacion 1900 MHz

DUT: Dipole 1900 MHz D1900V2; Type: D1900V2; Serial: D1900V2 - SN:5d062

Communication System: UID 0, CW (0); Communication System Band: D1900 (1900.0 MHz);

Frequency: 1900 MHz; Communication System PAR: 0 dB; PMF: 1

Medium parameters used: $f = 1900$ MHz; $\sigma = 1.47$ S/m; $\epsilon_r = 39.54$; $\rho = 1000$ kg/m³

Phantom section: Flat Section

Measurement Standard: DASY5 (IEEE/IEC/ANSI C63.19-2007)

DASY Configuration:

- Probe: ET3DV6 - SN1818; ConvF(4.79, 4.79, 4.79); Calibrated: 07/07/2010;
 - Modulation Compensation:
- Sensor-Surface: 4mm (Mechanical Surface Detection), $z = 2.7, 32.7$
- Electronics: DAE4 Sn678; Calibrated: 06/11/2012
- Phantom: SAM ns1146; Type: Twin Phantom; Serial: 1146
- DASY52 52.8.7(1137); SEMCAD X 14.6.10(7164)

Area Scan (61x61x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 4.24 W/kg

Zoom Scan (7x7x7) (31x36x36)/Cube 0: Interpolated grid: $dx=1.000$ mm, $dy=1.000$ mm, $dz=1.000$ mm

Reference Value = 55.379 V/m; Power Drift = -0.01 dB

Maximum value of SAR (interpolated) = 6.38 W/kg

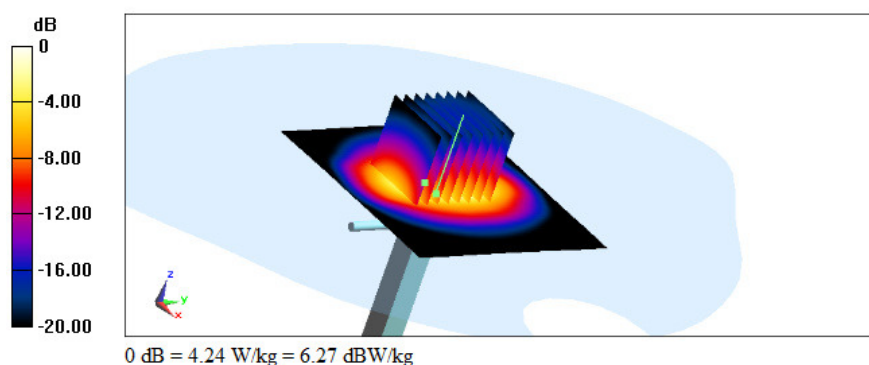


Figura 28: Valor de SAR medido para la comprobación de 1900 MHz

	SAR medido (mW/g)	SAR medido norm. 1W (mW/g)	SAR ref. norm. 1W (mW/g)	Desviación (%)	Válido
SAR 1g	3,52	35,20	39,70	-11,34	NO
SAR 10g	1,80	18	20,50	-12,20	NO

Tabla 15: Medidas y comprobación del sistema para 1900 MHz

La no validez de la comprobación del sistema para 1900 MHz tendrá la misma razón que para el caso de 1800 MHz. La máxima desviación de 10% se ha sobrepasado en 1,34 y 2,20% en 1g y 10g respectivamente.

En el software DASY el límite de conductividad se cambió a 1,47 en vez de 1,5 para permitir al programa analizar sin errores ni avisos (ya que el software tiene por límites los de la norma, se pudo aumentar el límite en el software hasta 1,5 ó dejarlo así y cambiar la conductividad obtenida).

En los resultados en los que se ha obtenido un NO por válido, ya se ha explicado que en la mayor parte se debe a la incertidumbre asociada a los líquidos y a la colocación del dipolo de referencia en el fantoma. La potencia que debe transmitirse siempre es de 100 mW (tanto en comprobaciones como en validaciones).

6.3 Diferencia de diagrama de radiación en espacio libre y en líquido

El diagrama de radiación en el espacio libre es el propio del terminal tal como emite, sin ningún tipo de pérdida, por lo que el campo eléctrico será el máximo que radia en el espacio. Sin embargo con el líquido de tejido simulado, las propiedades del medio por el que se propagan las

ondas del terminal cambian por completo, tenemos pérdidas y el diagrama de radiación del campo eléctrico cambia en cierta manera también.

Se presentará dicha diferencia con uno de los terminales de muestra (Samsung GT-S3650), medidos en espacio libre para la frecuencia de 1900 MHz y para el mismo terminal en el fantoma plano.

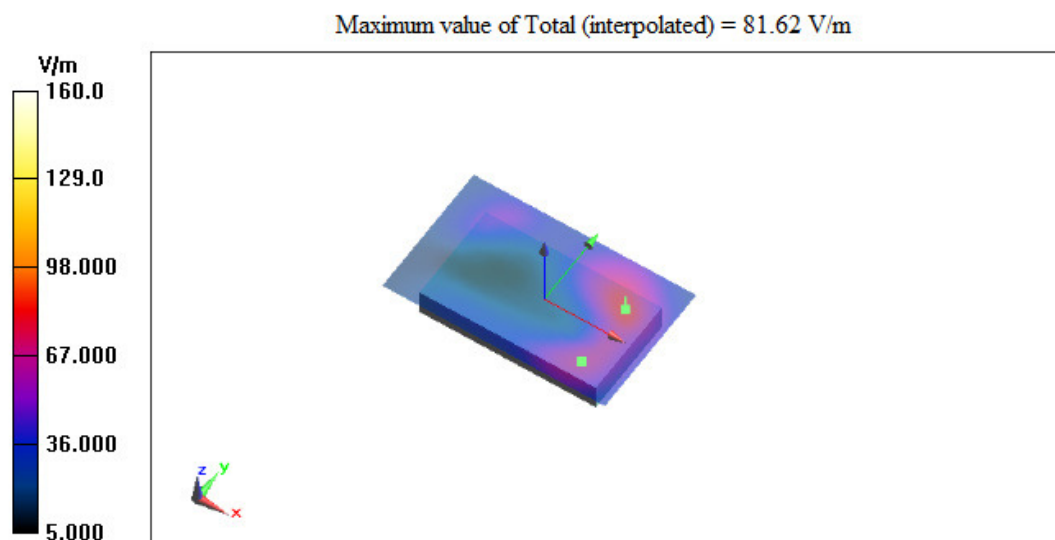


Figura 29: Diagrama de radiación del Samsung GT-S3650 en espacio libre

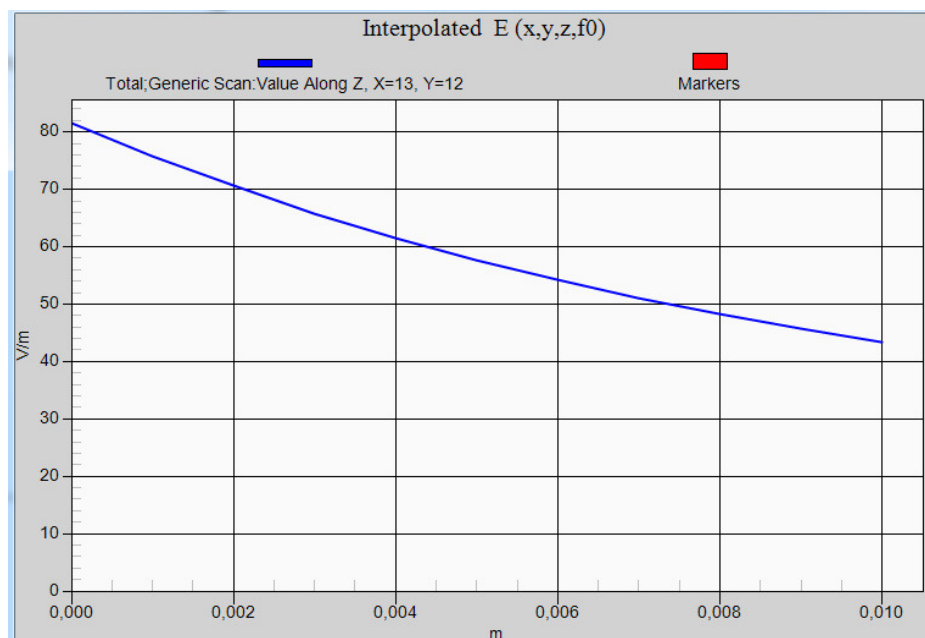


Figura 30: Atenuación del campo eléctrico del Samsung GT-S3650 en función de la distancia en espacio libre

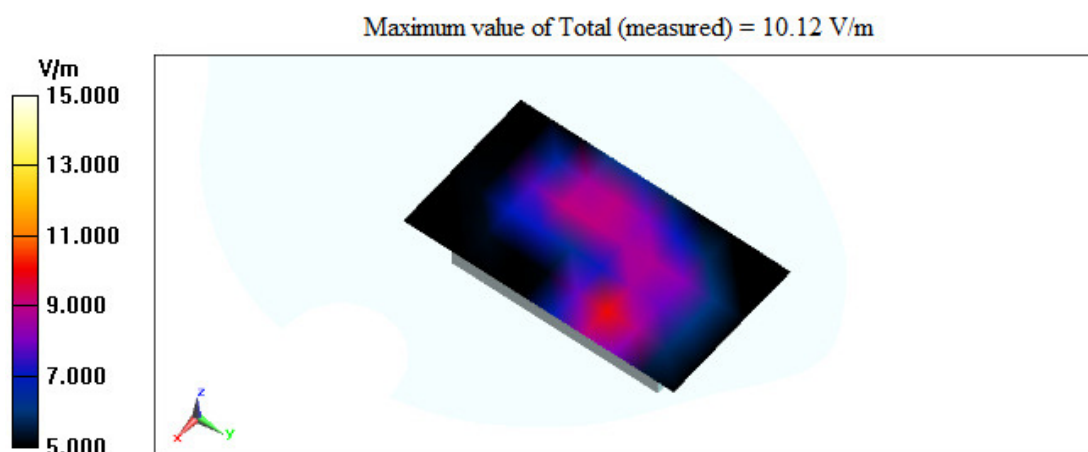


Figura 31: Diagrama de radiación del Samsung GT-S3560 en líquido de 1900 MHz

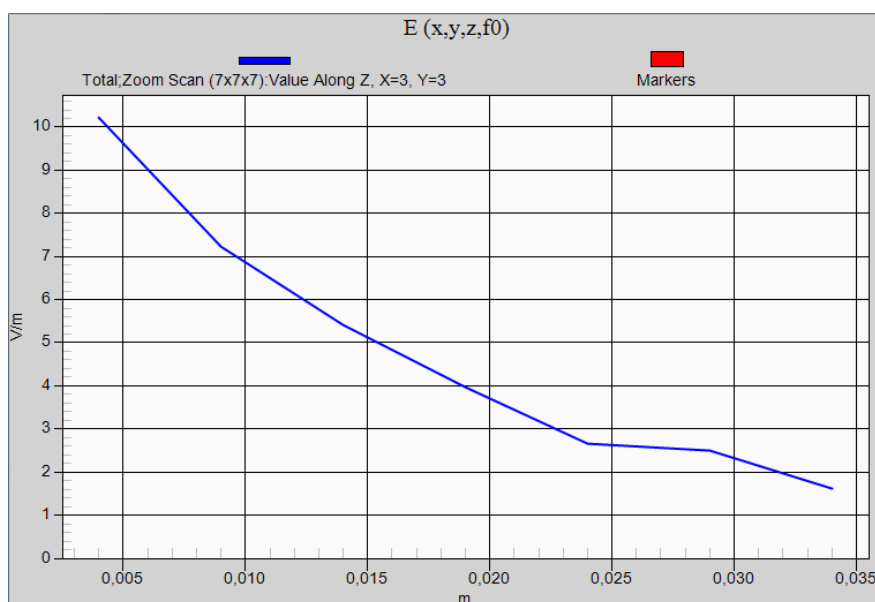


Figura 32: Atenuación del campo eléctrico del Samsung GT-S3650 en función de la distancia en el líquido de 1900

La diferencia es de 8 veces (9 dB) menos campo durante una transmisión dosimétrica de 1900 MHz que en espacio libre. También se comprueba que el diagrama de radiación es parecido en ambos casos, esto es que radiará de forma parecida pero con una mayor atenuación en el entorno dosimétrico.

En el caso de espacio libre, se ve que desde el punto obtenido de máximo campo (81,62 V/m), al alejarse una distancia de 1 cm, se atenúa el campo hasta 43,42 V/m disminuyendo de una manera con tendencia casi lineal.

En el caso del campo eléctrico dosimétrico se hizo distinto, pero se puede ver una tendencia similar, pero no perfecta disminuyendo de 10,12 V/m hasta 5,42 V/m a 1 cm.

Todo esto podría deberse aparte de por la diferencia de parámetros dieléctricos de los dos medios, a señal reflejada y también a una desadaptación que podría darse en la antena.

6.4 Ensayos SAR para la comparativa de GSM 850-900 y GSM 1800-1900

Para este apartado, que es el principal de medidas realizadas en los terminales, se realizará una comparativa entre las medidas SAR dadas por los fabricantes de los terminales en sus informes basados en la norma IEEE (GSM 850 y 1900) con respecto a las medidas llevadas a cabo en el laboratorio para la banda de frecuencia de la norma CENELEC (GSM 900 y 1800).

Durante los procedimientos realizados en todos los ensayos de cada una de las muestras, se observó que siempre obtenemos el mayor nivel de SAR en el lado izquierdo y tocando (para 1g), esto es debido a que en esa posición es en la que normalmente para los terminales la radiación es la que está más cerca del tejido humano, ya que al parecer, las antenas los fabricantes suelen situarlas en su mayoría en la parte izquierda inferior del terminal visto desde la pantalla. Se tendrá esto en cuenta aportando dichos resultados mediante las imágenes obtenidas en el software de evaluación SEMCAD X.

Independientemente de lo anterior, como se realizaron los demás ensayos en ambos lados y también en las dos posiciones, tocando e inclinado, a modo expositivo se mostrarán en el primer terminal ensayado (para el resto lo obviaremos) las imágenes más ilustrativas de cada posición e inclinación (izquierdo tocando y derecho inclinado).

Al tener en todos los informes de ensayos el mismo tipo de configuración del DASY, se pondrá únicamente en la primera ilustración.

También, para no ser repetitivo, se mostrarán únicamente las ilustraciones de evaluación para el apartado 6.4.1, ya que en el apartado 6.4.2 son los mismos lados en las mismas posiciones y no aportan nada relevante.

Para algunos informes, sólo se realizaron medidas en alguna banda de frecuencias como el caso del Sony Ericsson, donde sólo se realizaron en GSM 1900, por lo que no se puede realizar comparación entre GSM 850 y GSM 900, ya que ese terminal móvil únicamente funcionaba en la banda de 1900 MHz. Por esa razón, sólo se pudo hacer una comparativa entre GSM 1800 y GSM 1900 (las medidas de GSM 900 serán sólo a modo expositivo).



Figura 33: Terminales para los ensayos: Samsung GT-S3650, Sony Ericsson y Samsung GT-S7562

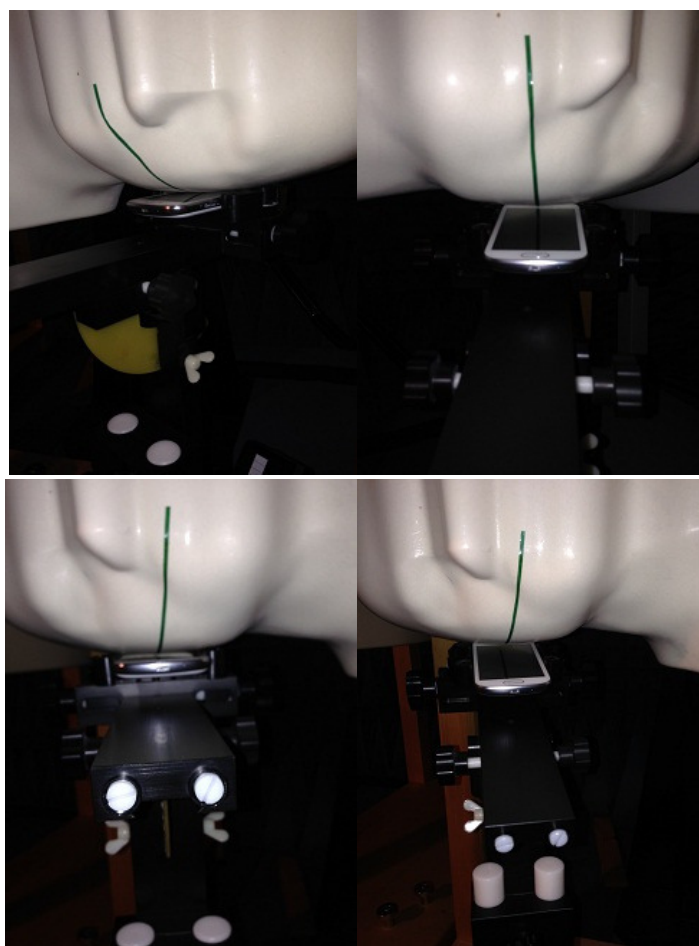


Figura 34: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Samsung GT-S7562 (de arriba a abajo e izquierda a derecha)

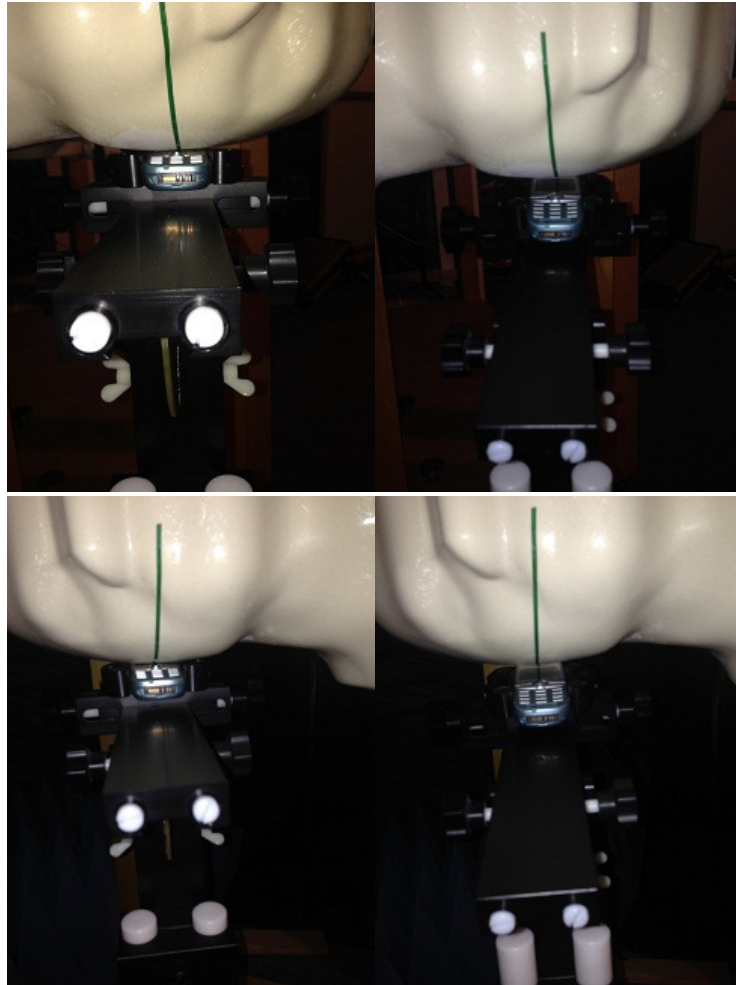


Figura 35: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Sony Ericsson (de arriba a abajo e izquierda a derecha)

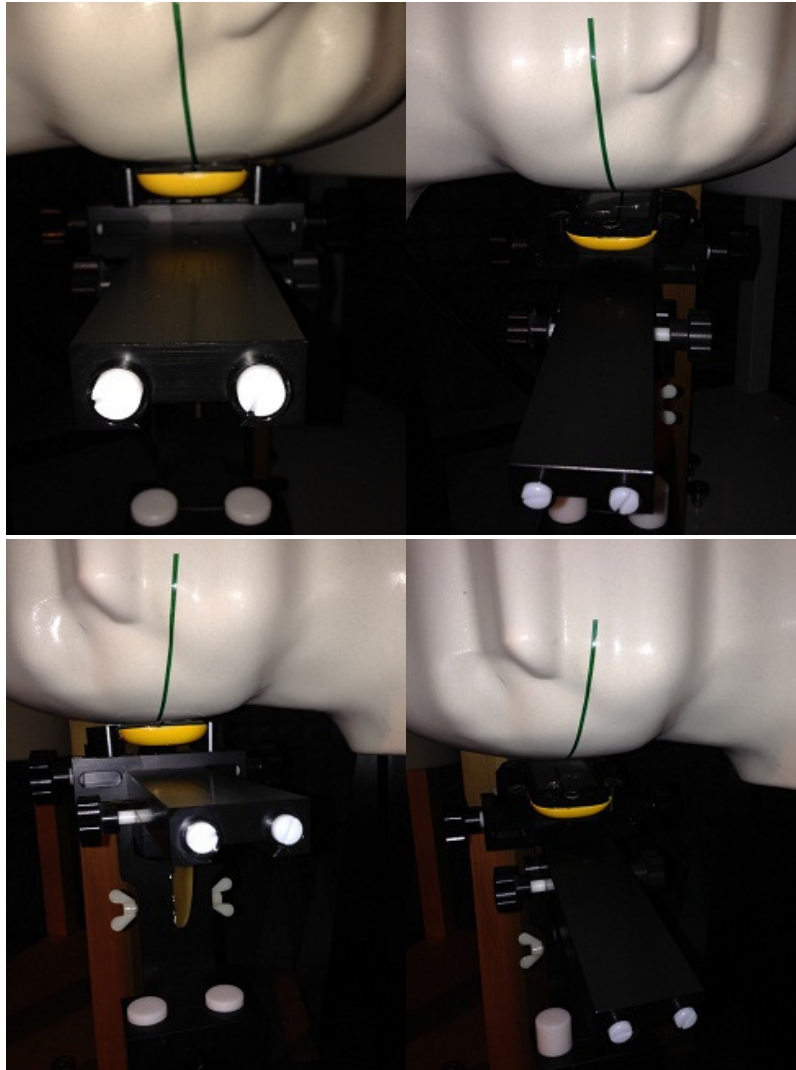


Figura 36: Posiciones izquierda tocando e inclinada 15° y derecha tocando e inclinada 15° en el Samsung GT-S3650 (de arriba a abajo e izquierda a derecha)

6.4.1 Medidas SAR para comparativa de 850-900 MHz

Comenzaremos con los resultados en el siguiente orden: Samsung GT-S3650, Sony Ericsson y Samsung GT-S7562.

Date/Time: 06/11/2013 11:40:54

Test Laboratory: DGTII

SamsungGT-S3650_left_cheek

DUT: Samsung GT; Type: GT-S3650; Serial: 358573032893277

Communication System: UID 0, Generic GSM (0); Communication System Band: P-GSM 900 (890.0 - 915.0 MHz);

Frequency: 902.4 MHz; Communication System PAR: 9.191 dB; PMF: 2.88104

Medium parameters used (interpolated): $f = 902.4$ MHz; $\sigma = 0.932$ S/m; $\epsilon_r = 40.293$; $\rho = 1000$ kg/m³

Phantom section: Left Section

Measurement Standard: DASY5 (IEEE/IEC/ANSI C63.19-2007)

DASY Configuration:

- Probe: ET3DV6 - SN1818; ConvF(5.71, 5.71, 5.71); Calibrated: 07/07/2010;
- Sensor-Surface: 4mm (Mechanical Surface Detection), $z = 2.7, 32.7$
- Electronics: DAE4 Sn678; Calibrated: 06/11/2012
- Phantom: SAM ns1377; Type: Twin Phantom; Serial: 1377
- DASY52 52.8.7(1137); SEMCAD X 14.6.10(7164)

Medida samsung GT left cheek/Area Scan (51x91x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.893 W/kg

Medida samsung GT left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (9x9x7)/Cube 0: Measurement grid: $dx=5$ mm, $dy=5$ mm, $dz=5$ mm

Reference Value = 8.946 V/m; Power Drift = -0.06 dB

Peak SAR (extrapolated) = 1.25 W/kg

SAR(1 g) = 0.857 W/kg; SAR(10 g) = 0.581 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 0.923 W/kg

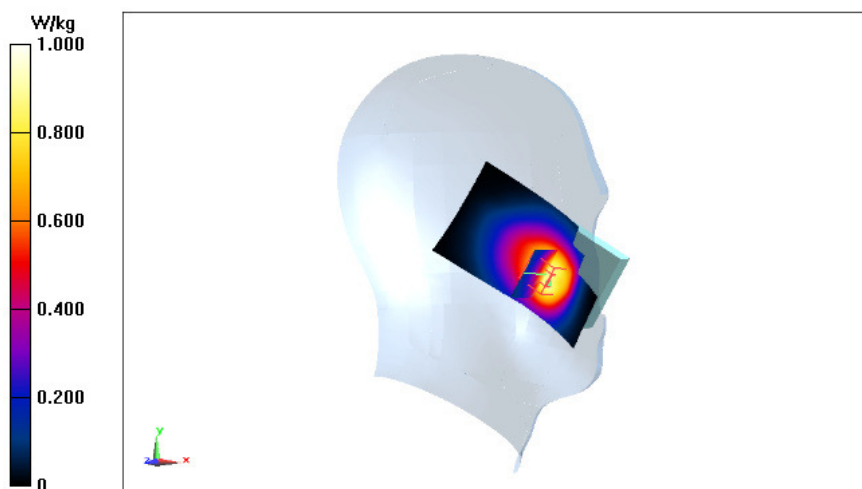


Figura 37: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en el lado izquierdo tocando

Medida samsung GT right tilt 15°/Area Scan (51x91x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.385 W/kg

Medida samsung GT right tilt 15°/Zoom Scan (7x7x7) (9x9x7)/Cube 0: Measurement grid: $dx=5$ mm, $dy=5$ mm, $dz=5$ mm

Reference Value = 11.194 V/m; Power Drift = -0.03 dB

Peak SAR (extrapolated) = 0.454 W/kg

SAR(1 g) = 0.355 W/kg; SAR(10 g) = 0.262 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 0.384 W/kg

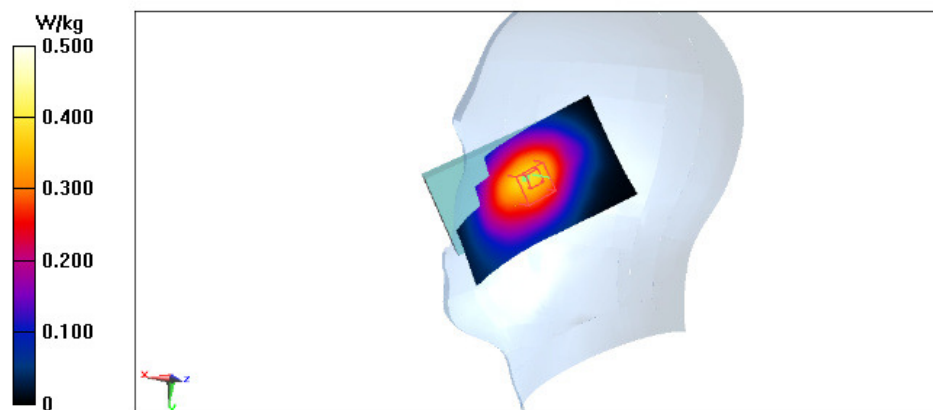


Figura 38: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en el lado derecho inclinado 15°

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,857	1,6	-0,69	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,398	1,6	-1,26	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,745	1,6	-4,61	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,355	1,6	-0,34	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,804	1,6	1,62	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	0,755	1,6	-0,80	5	Pasa

Tabla 16: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g

El **límite** de 5%, establece que la desviación de la SAR medida en un punto de referencia después de realizar el ensayo no puede variar un 5% de la medida de la SAR en el mismo punto de referencia antes de realizar el ensayo. Si el porcentaje de variación está dentro del rango $\pm 5\%$, el resultado es válido.

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,581	2,0	-0,69	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,293	2,0	-1,26	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,522	2,0	-4,61	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,262	2,0	-0,34	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,567	2,0	1,62	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	0,527	2,0	-0,80	5	Pasa

Tabla 17: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,308	1,6
Left/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,134	1,6
Right/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,280	1,6
Right/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,124	1,6
Left/cheek	Low (824,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (848,8 MHz)	-	1,6

Tabla 18: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,214	1,6
Left/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,100	1,6
Right/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,200	1,6
Right/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,093	1,6
Left/cheek	Low (824,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (848,8 MHz)	-	1,6

Tabla 19: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g

SonyEricsson_left_cheek

DUT: Sony Ericsson; Type: AAB-1021062-BV F A; Serial: 35927000-756014-3-05

Medida Sony Ericsson left cheek/Area Scan (51x91x1): Interpolated grid: dx=1.500 mm, dy=1.500 mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 1.21 W/kg

Medida Sony Ericsson left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (7x8x7)/Cube 0: Measurement grid: dx=5mm, dy=5mm, dz=5mm

Reference Value = 11.528 V/m; Power Drift = -0.23 dB

Peak SAR (extrapolated) = 1.73 W/kg

SAR(1 g) = 1.04 W/kg; SAR(10 g) = 0.685 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 1.14 W/kg

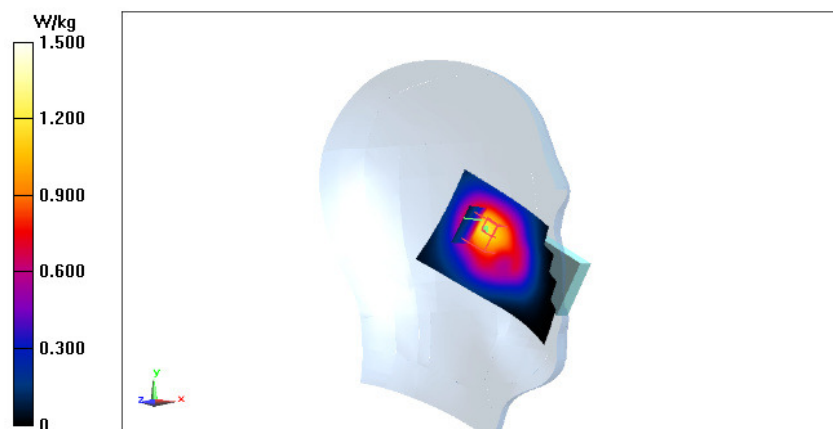


Figura 39: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en el lado izquierdo tocando

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	1,040	1,6	-2,61	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,849	1,6	-0,57	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,915	1,6	-1,26	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,759	1,6	-1,94	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,854	1,6	-2,16	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	1,060	1,6	-1,60	5	Pasa

Tabla 20: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,685	2,0	-2,61	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,555	2,0	-0,57	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,639	2,0	-1,26	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,519	2,0	-1,94	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,572	2,0	-2,16	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	0,695	2,0	-1,60	5	Pasa

Tabla 21: Resultados SAR en GSM 900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g

SamsungGT-S7562_left_cheek

DUT: Samsung GT; Type: GT-S7562; Serial: 357508050479501

Medida Samsung GT left cheek/Area Scan (61x101x1): Interpolated grid: dx=1.500 mm, dy=1.500 mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.424 W/kg

Medida Samsung GT left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (8x7x7)/Cube 0: Measurement grid: dx=5mm, dy=5mm, dz=5mm

Reference Value = 7.680 V/m; Power Drift = 0.14 dB

Peak SAR (extrapolated) = 0.496 W/kg

SAR(1 g) = 0.388 W/kg; SAR(10 g) = 0.289 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 0.422 W/kg

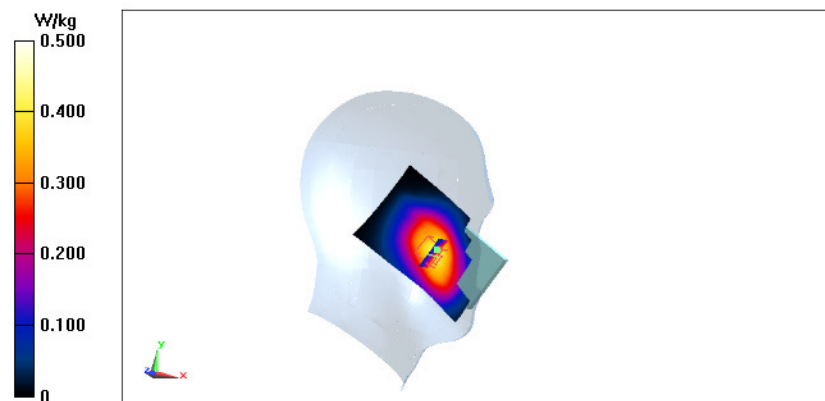


Figura 40: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en el lado izquierdo tocando

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,388	1,6	1,62	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,298	1,6	-0,57	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,324	1,6	-2,73	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,269	1,6	-1,03	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,325	1,6	1,74	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	0,484	1,6	0,93	5	Pasa

Tabla 22: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,289	2,0	1,62	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,221	2,0	-0,57	5	Pasa
Right/cheek	Mid (902,4 MHz)	0,242	2,0	-2,73	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (902,4 MHz)	0,199	2,0	-1,03	5	Pasa
Left/cheek	Low (890,2 MHz)	0,239	2,0	1,74	5	Pasa
Left/cheek	High (914,8 MHz)	0,354	2,0	0,93	5	Pasa

Tabla 23: Resultados SAR en GSM 900 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,106	1,6
Left/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,068	1,6
Right/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,085	1,6
Right/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,063	1,6
Left/cheek	Low (824,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (848,8 MHz)	-	1,6

Tabla 24: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,077	1,6
Left/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,050	1,6
Right/cheek	Mid (836,6 MHz)	0,062	1,6
Right/tilt 15°	Mid (836,6 MHz)	0,046	1,6
Left/cheek	Low (824,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (848,8 MHz)	-	1,6

Tabla 25: Resultados SAR en GSM 850 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g

6.4.2 Medidas SAR para comparativa de 1800-1900 MHz

Como se dijo en el apartado 6.4, se obviará el poner las imágenes de los informes resultantes, ya que los pasos y el grid utilizado en las medidas fueron los mismos, únicamente cambiaba la banda de trabajo. Ha habido una excepción, en el caso del Samsung GT-S7562, ya que no usa la misma antena en la banda de GSM 850-900 y GSM 1800-1900.

Como en el apartado 6.4.1, el orden para mostrar los resultados de los terminales es el mismo.

SamsungGT-S3650_left_cheek

DUT: Samsung GT; Type: GT-S3650; Serial: 35857303289327/7

Communication System: UID 0, Generic GSM (0); Communication System Band: DCS 1800 (1710.0 - 1785.0 MHz);

Frequency: 1747.4 MHz; Communication System PAR: 9.191 dB; PMF: 2.88104

Medium parameters used (interpolated): $f = 1747.4$ MHz; $\sigma = 1.341$ S/m; $\epsilon_r = 39.878$; $\rho = 1000$ kg/m³

Phantom section: Left Section

Measurement Standard: DASY5 (IEEE/IEC/ANSI C63.19-2007)

Medida samsung GT left cheek/Area Scan (51x91x1): Interpolated grid: $dx=1.500$ mm, $dy=1.500$ mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.688 W/kg

Medida samsung GT left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (7x7x7)/Cube 0: Measurement grid: $dx=5$ mm, $dy=5$ mm, $dz=5$ mm

Reference Value = 9.367 V/m; Power Drift = -0.01 dB

Peak SAR (extrapolated) = 1.01 W/kg

SAR(1 g) = 0.598 W/kg; SAR(10 g) = 0.326 W/kg

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,598	1,6	-0,12	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,235	1,6	0,23	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,344	1,6	-2,95	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,203	1,6	-2,84	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,398	1,6	1,51	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,539	1,6	0,69	5	Pasa

Tabla 26: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,326	2,0	-0,12	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,155	2,0	0,23	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,226	2,0	-2,95	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,133	2,0	-2,84	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,224	2,0	1,51	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,294	2,0	0,69	5	Pasa

Tabla 27: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,690	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,186	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,520	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,208	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 28: Resultados SAR en GSM 1900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,357	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,118	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,315	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,120	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 29: Resultados SAR en GSM 1900 para Samsung GT-S3650 en todas las posiciones para 10g

Medida Sony Ericsson left cheek/Area Scan (51x91x1): Interpolated grid: dx=1.500 mm, dy=1.500 mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.365 W/kg

Medida Sony Ericsson left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (7x7x7)/Cube 0: Measurement grid: dx=5mm, dy=5mm, dz=5mm

Reference Value = 9.385 V/m; Power Drift = -0.21 dB

Peak SAR (extrapolated) = 0.569 W/kg

SAR(1 g) = 0.332 W/kg; SAR(10 g) = 0.189 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 0.367 W/kg

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,332	1,6	-2,39	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,304	1,6	-0,80	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,243	1,6	1,39	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,230	1,6	0,00	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,342	1,6	-0,69	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,440	1,6	0,35	5	Pasa

Tabla 30: Resultados SAR en GSM 1800 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,189	2,0	-2,39	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,169	2,0	-0,80	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,139	2,0	1,39	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,137	2,0	0,00	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,200	2,0	-0,69	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,248	2,0	0,35	5	Pasa

Tabla 31: Resultados SAR en GSM 1800 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,347	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,347	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,237	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,233	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 32: Resultados SAR en GSM 1900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,181	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,175	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,134	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,129	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 33: Resultados SAR en GSM 1900 para Sony Ericsson en todas las posiciones para 10g

Medida Samsung GT left cheek/Area Scan (61x101x1): Interpolated grid: dx=1.500 mm, dy=1.500 mm

Maximum value of SAR (interpolated) = 0.442 W/kg

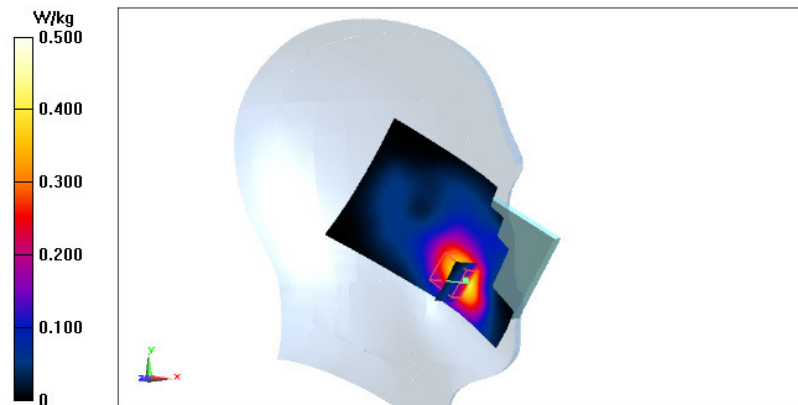
Medida Samsung GT left cheek/Zoom Scan (7x7x7) (7x7x7)/Cube 0: Measurement grid: dx=5mm, dy=5mm, dz=5mm

Reference Value = 10.387 V/m; Power Drift = -0.14 dB

Peak SAR (extrapolated) = 0.559 W/kg

SAR(1 g) = 0.374 W/kg; SAR(10 g) = 0.230 W/kg

Maximum value of SAR (measured) = 0.407 W/kg

**Figura 41: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en el lado izquierdo tocando**

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,374	1,6	-1,71	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,105	1,6	-0,69	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,232	1,6	-3,39	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,116	1,6	-1,14	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,302	1,6	-0,92	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,431	1,6	0,23	5	Pasa

Tabla 34: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)	Desviación (%)	Límite (%)	Resultado
Left/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,230	2,0	-1,71	5	Pasa
Left/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,058	2,0	-0,69	5	Pasa
Right/cheek	Mid (1747,4 MHz)	0,146	2,0	-3,39	5	Pasa
Right/tilt 15°	Mid (1747,4 MHz)	0,066	2,0	-1,14	5	Pasa
Left/cheek	Low (1710,2 MHz)	0,185	2,0	-0,92	5	Pasa
Left/cheek	High (1784,8 MHz)	0,257	2,0	0,23	5	Pasa

Tabla 35: Resultados SAR en GSM 1800 para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,188	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,096	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,118	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,091	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 36: Resultados SAR en GSM 1900 del informe para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,110	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,053	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,072	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,052	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	-	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	-	1,6

Tabla 37: Resultados SAR en GSM 1900 del informe para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,405	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,096	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,245	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,130	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	0,414	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	0,356	1,6

Tabla 38: Resultados SAR en GSM 1900 medidos para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 1g

Lado / Posición	Canal (Frecuencia)	SAR Máx. (W/Kg)	Límite (W/Kg)
Left/cheek	Mid (1880 MHz)	0,244	1,6
Left/tilt 15°	Mid (1800 MHz)	0,052	1,6
Right/cheek	Mid (1880 MHz)	0,147	1,6
Right/tilt 15°	Mid (1880 MHz)	0,077	1,6
Left/cheek	Low (1850,2 MHz)	0,250	1,6
Left/cheek	High (1909,8 MHz)	0,214	1,6

Tabla 39: Resultados SAR en GSM 1900 medidos para Samsung GT-S7562 en todas las posiciones para 10g

Se ha obtenido una diferencia notable en el SAR obtenido en la banda de trabajo de GSM 1900 habiéndolo medido en el laboratorio, que en los resultados vistos en el informe de la FCC en el terminal Samsung GT-S7562.

Comparativa

7. Comparativa

En este apartado del proyecto, se expone una comparativa de las medidas de SAR con mayor nivel (ya que será el que nos interese por ser el peor) de cada uno de los terminales móviles en cada una de las bandas a comparar (GSM 850-900 y GSM 1800-1900).

A continuación se muestran todas las comparaciones de importancia para cada uno de los terminales y de las bandas:

Banda	SAR 1g (W/kg)	Límite SAR 1g (W/kg)	% SAR 1g sobre límite	SAR 10g (W/kg)	Límite SAR 10g (W/kg)	% SAR 10g sobre límite	Cumple
850	0,308	1,6	19,25	0,214	1,6	13,38	SÍ
900	0,857	1,6	53,56	0,581	2	29,05	SÍ
1800	0,598	1,6	37,38	0,326	2	16,30	SÍ
1900	0,690	1,6	43,13	0,357	1,6	22,31	SÍ

Tabla 40: Comparativa de las medidas de SAR para el Samsung GT-S3650

Banda	SAR 1g (W/kg)	Límite SAR 1g (W/kg)	% SAR 1g sobre límite	SAR 10g (W/kg)	Límite SAR 10g (W/kg)	% SAR 10g sobre límite	Cumple
850	-	1,6	-	-	1,6	-	-
900	1,060	1,6	66,25	0,695	2	34,75	SÍ
1800	0,440	1,6	27,50	0,248	2	12,40	SÍ
1900	0,347	1,6	21,69	0,181	1,6	11,31	SÍ

Tabla 41: Comparativa de las medidas de SAR para el Sony Ericsson

Banda	SAR 1g (W/kg)	Límite SAR 1g (W/kg)	% SAR 1g sobre límite	SAR 10g (W/kg)	Límite SAR 10g (W/kg)	% SAR 10g sobre límite	Cumple
850	0,106	1,6	6,63	0,077	1,6	4,81	SÍ
900	0,484	1,6	30,25	0,354	2	17,70	SÍ
1800	0,431	1,6	26,94	0,257	2	12,85	SÍ
1900	0,188	1,6	11,75	0,110	1,6	6,88	SÍ

Tabla 42: Comparativa de las medidas de SAR para el Samsung GT-S7562

Para las tres tablas anteriores (Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42), tenemos los valores máximos (por tanto, los peores) de SAR para cada uno de los terminales y en cada banda de frecuencia. Como se contó en el apartado 6.4; estos valores son los del lado izquierdo y tocando, siendo en su mayoría en el canal medio, aunque algunos otros como en el caso del Samsung GT-S7562 en las bandas de 1800 y 1900, que el valor máximo era en el canal alto. Esto es debido a que la situación de la antena coincide con una posición más próxima a la cabeza en el terminal.

Incluso para el peor caso de todos los obtenidos, que ocurre en el terminal Sony Ericsson, obtenemos un 66,25% de la SAR sobre el límite establecido en la banda de 900 MHz, y aún así se sigue cumpliendo de sobra este objetivo, y por tanto se ratifica la conformidad del terminal.

Tras observar y analizar las tablas, podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Se cumple el objetivo de SAR sobre el límite de cada una de las normas en los casos de:
 - Si cumple con el límite en la norma de USA, cumple también con el límite europeo, ya que para la norma americana el límite es de 1,6 W/kg, y para el caso europeo es de 1,6 para 1g de tejido corporal y 2 para 10g de tejido corporal.
 - Si cumple con el límite de la norma de Europa, no podemos asegurar con certeza que cumplirá con el límite en la norma americana. Esto es porque en el caso de 10g de tejido corporal tenemos un límite de 2 W/kg en la norma europea y 1,6 W/kg en la norma americana, por lo que en el caso de una medida de SAR fuera superior a 1,6; ésta sería válida en Europa, pero no en America. Sin embargo, en el caso de 1g de tejido corporal, al tener el límite impuesto a 1,6 tanto en la norma europea como en la americana, en ese caso sí podremos asegurar que cumple.

- En el caso de los resultados obtenidos, observando el peor de las tablas (el del Sony Ericsson para 900 MHz y 1g) y teniendo en cuenta la incertidumbre calculada en el apartado 6.1.1 para 900 MHz y 1g que resultó ser de 20,48%, tendemos un máximo valor teórico de: 1,28 W/kg, y un porcentaje con respecto al límite de 79,82%.
Aún se sigue cumpliendo y la medida está por debajo del límite impuesto por la norma, teniendo incluso un margen superior al 20%.
- A pesar de las diferencias de los límites entre las normas, los procedimientos usados para realizar las medidas de SAR son iguales (Figura 19).
- La extrapolación de datos a una norma conociendo los de la otra norma es una tarea difícil y complicada ya que únicamente teniendo tres muestras que analizar, no se puede realizar un estudio estadístico propiamente dicho y sacar conclusiones generales.

Sin embargo, podemos deducir que las medidas de 1g son siempre superiores en un 50% aproximadamente con respecto a las de 10g, ya que en las tres muestras utilizadas para los ensayos se dio esta característica en todas las bandas de frecuencias.

Además, aunque no se haga mención alguna en la norma americana para 10g, en realidad no haría falta debido a que siempre la medida de SAR en 1g es mayor (cerca del doble) que la de 10g, sin embargo al realizar las medidas de SAR con el software requerido para ello, también se da el dato de la SAR en 10g.

Como en estos teléfonos disponemos de la medida del fabricante y de nuestra medida, y éstas aunque generalmente parecidas, salvo en el terminal Samsung GT-S7562 que varían bastante; esto nos lleva a pensar que con el uso del teléfono (caídas, uso, quitar la batería y ponerla, etc...) y con el paso de los años los teléfonos siguen cumpliendo con los límites de SAR.

Presupuesto de un banco SAR

8. Presupuesto de un banco SAR

En este apartado se realizará un cálculo aproximado del coste adjunto al banco de SAR, teniendo en cuenta todos y cada uno de sus componentes, para poder realizar las medidas de SAR conforme a las normas 62209-1 y 62209-2.

El banco para la medida de SAR está compuesto por los siguientes componentes:

- Cámara semianecóica de ALAVA INGENIEROS.
- Sistema de adquisición de datos y software de evaluación:
 - Robot DASY4 RX90L de Stäubli SA.
 - Controlador DASY del robot.
 - Servidor de medidas 4.5.12.
 - Sonda dosimétrica de campo eléctrico ET3DV6 – SN1818 de Speag.
 - Dipolos para validación: D900V2 NS:1d024, D1800V2 NS:2d118 y D1900V2 NS:5d062 de Speag.
 - Dispositivo de sujeción del ESE.
 - Software de medida DASY52.8
 - Software de postprocesado y presentación SEMCAD X.
- Simulador de estación base CMU 200.
- Fantomas de cabeza abierta por su plano sagital (SAM 1377 y SAM 1146) de Speag.
- Fantoma plano de Speag.
- Líquidos equivalentes al tejido humano HSL 900 y HSL 1800 (también válido para 1900).
- Analizador vectorial de redes N5242A de Agilent Technologies.
- Kit de análisis de propiedades dieléctricas de líquidos 85070C de Agilent Technologies.
- Generador de señal SMR20 de Rohde & Schwarz.
- Medidores de potencia: 6960A de Marconi Instruments y Analizador de Espectros FSH18 de Rohde & Schwarz.
 - 2 Sondas para los medidores: N° serie 3538 de Marconi Instruments y FSH-Z18 de Rohde & Schwarz respectivamente para cada medidor.
- Atenuadores.
- Amplificador 54432-010A de Marconi Instruments.
- Acoplador direccional 778D-012 de hp.

En el presupuesto, no se incluyen el mantenimiento del banco SAR, entre lo que se incluye la calibración de los dipolos de validación, las sondas dosimétricas, el robot DASY4, actualizaciones del software DASY y del de medida de líquidos.

Los precios aproximados de los diferentes elementos son los siguientes:

Elemento	Precio (€)
Cámara semianecóica	125.000
Equipamiento de adquisición de datos	340.000
Simulador de estación base	40.500
Fantomas	12.000
Líquidos equivalentes	5.000
Kit análisis de líquidos	14.500
Analizador vectorial de redes	77.500
Generador de señal	16.000
Medidor de potencia dual + 2 sondas	9.000
Elementos añadidos	3.500
Total	643.000

Tabla 43: Presupuesto del banco SAR

Para todos los ensayos de SAR se ha hecho uso del mismo banco de medidas SAR, al que también deberemos añadir una serie de elementos que no son estrictamente del banco pero son necesarios. Estos elementos, incluidos con la denominación “Elementos añadidos”, tienen un coste aproximado de unos 3500€, y son los siguientes:

- Aire acondicionado con bomba de calor.
- Dos termómetros para la medida de la temperatura ambiente y del líquido equivalente.
- Humidificador.
- Cables de Radiofrecuencia con sus correspondientes conectores.

Conclusiones finales

9. Conclusiones finales

El trabajo realizado trata de presentar una comparativa entre las normas de ensayo para la medida de SAR, utilizadas en Europa (CENELEC) y las empleadas en América (IEEE). El objetivo es determinar la diferencia de valores obtenidos para un mismo terminal móvil, y qué implicación tiene en la conformidad o cumplimiento con los requisitos esenciales en el entorno europeo.

Para que un fabricante, importador o comercializador de un producto lo pueda poner en el mercado, es necesario que cumpla con una serie de requisitos esenciales, entre los que se encuentra el de protección de la salud. Para verificar este requisito en teléfonos móviles se comprueba el cumplimiento con los límites de SAR.

De las diferencias observadas de SAR en las diferentes tablas comparativas, se indica seguidamente una serie de motivos que nos llevan a esta diferencia de SAR para una norma u otra:

- En el terminal Samsung GT-S3650, tras un análisis preliminar en espacio libre se observó que se tenían las dos antenas radiantes muy cercanas en la parte baja del terminal, una a cada lado (al lado izquierdo la antena de la banda de GSM 850-900 y al lado derecho la antena de la banda de GSM 1800-1900).
- La incertidumbre que obtenemos del banco SAR, además de la de los líquidos (calculada en el apartado 6.1.1 y 6.1.2).
- Las diferencias entre las posiciones e inclinaciones también es un factor a tener en cuenta, ya que dependiendo de si la antena radiante está en un lado u otro del terminal, obtendremos mayor SAR en un lado u otro del fantoma.
- La variación de la frecuencia es otro factor, ya que cuanto mayor frecuencia tengamos, mayor atenuación obtendremos del campo eléctrico, y por tanto de SAR.

Se obtiene una gran diferencia entre las medidas obtenidas en el laboratorio con respecto a las proporcionadas por el informe FCC de Samsung para el terminal GT-S7562. Esto podría deberse a diversos motivos como:

- Diferencia entre el terminal medido y el prototipo usado para el informe FCC de SAR.
- El entorno en el que se realizaron las medidas.
- Por algún tipo de incertidumbre asociada.

Sin embargo, a pesar de darse una diferencia tan notable, aún los resultados de SAR están muy por debajo del límite requerido por ambas normas, por lo que existe un margen suficiente para determinar que puede dar como resultado un cumplimiento.

Es decir, el objetivo del presente proyecto era ratificar la conformidad europea suministrada por los diversos fabricantes de terminales móviles, comprobando mediante una comparativa entre las diversas bandas de frecuencia, que la SAR cumple con los límites establecidos por la comunidad europea.

Por lo que se dictamina que los terminales cumplen con creces su propósito en el objetivo de este proyecto.

Sin embargo, sería conveniente en el futuro seguir realizando estudios sobre este tema, y tratando de indagar si sucede en general una diferencia tan significativa de SAR en terminales tan nuevos como el Samsung GT-S7562, los *Smartphones*, y si es así, el buscar una explicación.

Referencias

10. Referencias

1. 1999/519/CE. El Consejo De La Unión Europea, 12 de Julio de 1999. *Recomendación del Consejo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)*.
2. Comisión Internacional sobre la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), 1998. *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*.
3. Technical Committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure (CENELEC), 16 de Agosto de 2013. *IEC TC 106 MT1: Options to deal with the question of the hand effect on the peak spatial-average SAR in the head of cell phone users*.
4. 62209-1:2005. Comité Europeo de Normalización Electrónica (CENELEC), 31 de Julio de 2006. *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)*.
5. Std 1528:2003. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), 2003. *Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head form Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*.
6. IEC 62209-2:2010. Comité Europeo de Normalización Electrónica (CENELEC), 3 de Diciembre de 2012. *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation and procedures - Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)*.
7. Comisión Federal de Comunicaciones. Departamento de Tecnología e Ingeniería. FCC. *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. June 2001. Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to Radiofrequency Emissions*.
8. 765/2008 Reglamento CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 9 de Julio de 2008. *Se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) 339/93*.
9. Manual del sistema DASY52, Mayo de 2011. *Dasy52 System Handbook*.

10. 18256 Real Decreto 1066/2001, 28 de Septiembre de 2001, por el que se aprueba el Reglamento que establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas.
11. 694 Orden CTE/23/2002, 11 de Enero de 2002, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.